

**APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE PIÑA Y CAFÉ PARA  
LA PRODUCCIÓN DE ETANOL POR FERMENTACIÓN**

JUAN DAVID BETANCOURT ESCOBAR

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA  
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y  
BIOMATERIALES  
CASANARE  
2023

# **APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE PIÑA Y CAFÉ PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL POR FERMENTACIÓN**

**JUAN DAVID BETANCOURT ESCOBAR**

Informe de seminario especializado para optar por el título de  
especialista en procesos de alimentos y biomateriales

Asesor Temático  
**HEIDY LORENA GALLEGO OCAMPO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA  
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS Y TECNOLOGÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN PROCESOS DE ALIMENTOS Y  
BIOMATERIALES  
CASANARE  
2023**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Yopal, 02 de abril del 2023

## Tabla de contenido

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN.....  | 6  |
| INTRODUCCIÓN.....   | 7  |
| OBJETIVOS.....  | 9  |
| OBJETIVO GENERAL.....   | 10 |
| OBJETIVOS ESPECIFICOS.....  | 10 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....   | 10 |
| 1. ETAPAS OPERATIVAS Y DE PRODUCCIÓN.....   | 11 |
| 1.1. Diagrama para la producción de etanol a partir de residuos agropecuarios por vía fermentativa..... | 13 |
| 2. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO.....  | 16 |
| 3. SIMULACIÓN DEL PROCESO.....  | 17 |
| 4. POLÍTICA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES.....  | 20 |
| CONCLUSIONES.....   | 22 |
| BIBLIOGRAFÍA.....   | 23 |

## Lista de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 Diagrama de proceso de producción de Etanol.....   | 14 |
| Figura 2 Diagrama de flujo para la producción de etanol a partir de residuos agroindustriales.....      | 15 |
| Figura 3 Modelo de simulación del fermentador en SuperPro Desinger.....                                 | 17 |
| Figura 4 Ecuación de fermentación.....  | 17 |
| Figura 5 Resultados de la simulación para el café.....  | 18 |
| Figura 6 Resultados de la simulación para la piña.....  | 18 |
| Figura 7 Infografía de las políticas públicas para el aprovechamiento de residuos agroindustriales..... | 21 |

## **Lista de tablas**

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1 Operaciones unitarias en la etapa de pretratamiento, fermentación y separación del etanol.....  | 12 |
| Tabla 2 Diseños de diseño central compuesto para el análisis de optimización de la producción de etanol a partir de los residuos de café y piña.....        | 16 |
| Tabla 3 Resultados de la simulación del proceso fermentativo de la producción de etanol a partir de piña y café a lo largo de las 24 horas del proceso..... | 19 |

## RESUMEN

La revalorización de residuos agroindustriales en fuentes de materias primas, para producir sustancias de interés industrial y comercial, no solo ayuda a reducir los costos operativos del proceso, también permite reducir los impactos ambientales de otras industrias. Para el presente trabajo se analiza la producción de etanol por proceso fermentativo a partir de los residuos generados por la producción de piña y café del departamento de Casanare, generando un impacto económico a las cerca de 21.000 toneladas año de desperdicios agroindustriales de estas dos industrias en el sector. Al analizar el proceso industrial necesario para la producción de etanol por vía fermentativa es necesario considerar las condiciones en las cuales va a operar el fermentador y la forma en que el residuo agroindustrial se comporta bajo estas condiciones, razón por la cual se realiza una simulación de esta parte del proceso, con la ayuda del programa SuperPro Designer dando como resultado que el rendimiento de la piña es 0.0064 g/L y para el café de 0.1131 g/L de etanol.

Palabras clave: Café, etanol, fermentación, piña.

## INTRODUCCIÓN

A pesar de los esfuerzos legislativos con los que cuenta Colombia para reducir el desperdicio de alimentos, actualmente se desperdician cerca de 10.000.000 toneladas por año de alimentos (Departamento Nacional de Planeación, Sinergia, 2021, Decreto 1071, 2015), principalmente en fuentes de origen vegetales. Los residuos alimenticios se pueden clasificar como subproductos o materia prima para la producción de otros compuestos de interés al transformarlos con la ayuda de distintas operaciones unitaria, como es el caso de los residuos de piña o café. Adicional a lo anterior se pueden emplear técnicas y procesos de simulación de bioprocesos, con datos experimentales e información biográfica, lo cual permite reproducir de manera virtual el desarrollo de un proceso de producción o transformación de alimentos, permitiendo de forma rápida y económica monitorear todo el proceso que se está diseñando u optimizando, mientras se reducen los desperdicios de materia prima s (FCEN, 2020; Senasa, 2015; Velasco, 2021).

Las operaciones unitarias dependen del tipo de proceso que se quiera o deba realizar para transformar unas materias primas iniciales a nuestro producto terminado, además de las condiciones necesarias de temperatura, presión, aireación y separación que se deben dar para lograr esto. Las operaciones unitarias pueden clasificarse según la naturaleza de transformación que realicen, las cuales pueden ser físicas, químicas o bioquímicas, y según la propiedad transferida, las cuales pueden ser transferencia de materia, transferencia de energía o transferencia simultanea de materia y energía; algunas de las operaciones unitarias más comunes son la mezcla, filtrado, secado, evaporación, fermentación, pasteurización, destilación, extracción, los procesos de calentamiento y enfriamiento (Operaciones Unitarias en la Biotecnología, 2017; FCEN, 2020).

Con el objetivo de hacer las simulaciones computacionales precisas es necesario tener en cuenta la razón por la cual se va a hacer el modelo, es necesario tener en cuenta la información propia del sistema a trabajar, en primer lugar se consideran factores tales como los datos necesarios y suficientes para realizar análisis estadísticos de tal forma que permita generar los modelos matemáticos predictivos necesarios para el modelado, esto es necesario para que el modelo sea preciso y válido, y se pueda generar información adecuada y deseable, naturalmente se debe tener en cuenta el sistema sobre el cual se va a generar el modelo (Jarrah, Mayel, Tatarko, Funk, & Kuka, 2020).

Entre los motivos por el cual se quiere hacer una simulación se tiene que considerar los diferentes procesos biotecnológicos como pueden ser producción

de medicamentos, procesos fermentativos o crecimiento microbiano, como en la dinámica de fluidos cuestiones del tamaño y geometría de los tanques o equipos de operación, los tamaños formas y materiales de los componentes internos de los equipos, como las paletas de agitación o las configuraciones en los intercambiadores de calor (Straathof, y otros, 2019; Rivera, Pérez, Castañeda, & Nava, 2021). Entre las consideraciones sobre las cuales se deben realizar modelados y simulaciones de procesos, se encuentra la de aumentar la productividad en las diferentes etapas tanto del proceso, como a nivel administrativo y logístico (Bizagi, 2021; Sastoque Campos, 2021). Entre las consideraciones que permiten mejorar la productividad del proceso influyen cuestiones de rendimiento del producto basado en diferentes materias primas, en este tipo de análisis no solo se mira cuánto de la sustancia deseada se produce, sino también la facilidad de separación al final del proceso, las consideraciones y los costos operativos derivados para adecuar la materia prima a las condiciones del proceso, la relación entre costo y beneficio entre los diferentes tipos de materia prima. Al realizar este tipo de análisis en procesos computacionales se tiene como beneficio tanto la reducción de costos operativos, como la reducción de consumo de materias primas.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un método para aprovechar los residuos generados por la producción de piña y café, para producir alcohol etílico por vía fermentativa apoyándose en herramientas de simulación y análisis del proceso.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar las condiciones de operación del fermentador para cada uno de los tipos de residuos agrícolas que se van a trabajar.
- Simular el proceso con las condiciones óptimas de producción según la referencia biográfica en el software SuperPro Designer.
- Definir un sistema para una optimización en etapa operativa con el fin de encontrar las condiciones operativas más adecuadas según la ubicación del proceso.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La economía del departamento de Casanare depende principalmente del sector petrolero y ganadero, pero también tiene cultivos de palma, arroz, piña y café, de estos con la ayuda del Ministerio de Ciencias y Tecnologías de Colombia (MinCiencias, 2013) se tiene priorizado inversión en el tratamiento y aprovechamiento de los desperdicios del sector agropecuario para la región, centrándose principalmente en ganadería, arroz y palma, los cuales son los más predominantes entre los regiones de producción agropecuaria, pero para los residuos de la piña y el café no se presentan apoyos tan fuertes, al menos en el manejo de sus residuos, lo que contradice el decreto 1071 del 2015 (Decreto 1071, 2015) el cual busca plantear estrategias, tecnologías e intercambio de información con el fin de mitigar la producción de residuos agropecuarios y en lo posible encontrar formas aprovechamiento de los residuos a nivel industrial y económico.

Según los datos oficiales, en el año 2019 se produjeron 35.511 toneladas de piña y cerca del 0,3% de la producción de café en Colombia se produce en el departamento de Casanare, que según (Misran, Idris, Sarip, & Ya'akob, 2019; Granados Pérez & Aguillón Mayorga, 2019) para el caso de la piña el 43% del peso se desperdicia entre la cáscara, la corona y el tallo de la piña, lo que representa poco más de 15.000 toneladas de desperdicios, mientras que para el café solo alrededor del 6.000 toneladas de cereza de café se producen (Núñez, 2020; Fernández-Cortés, Sotto-Rodríguez, & Vargas-Marín, 2020).

Además existen incentivos para mejorar la producción de café y piña en los municipios productores del departamento de Casanare (Editor1, 2020; Semana, 2021), lo cual tiende a generar indirectamente un aumento en los residuos agrícolas con alto contenido de azúcares lo cual los vuelve útiles para el proceso de fermentación alcohólica (Duque, Álvarez, Doménech, Manzanares, & Moreno, 2021).

El alcohol obtenido del proceso de fermentación puede ser usado en procesos industriales para la elaboración de anticongelantes, solvente orgánico, desinfectante, combustible y para consumo en bebidas recreativas (Ramos Tantaleán, 2020), mientras que los desechos orgánicos del proceso fermentativo pueden ser aprovechados como fuentes de abono ayudando a mantener la productividad de los terrenos de cultivo.

## 1. ETAPAS OPERATIVAS Y DE PRODUCCIÓN

La producción de etanol por vía fermentativa con residuos agroindustriales puede dividirse en dos etapas, en la primera etapa se hace la preparación de la materia prima, y en la segunda etapa se da la producción y separación del etanol por medio de un proceso fermentativo y de destilación, estos procesos pueden verse en

*Tabla 1 Operaciones unitarias en la etapa de pretratamiento, fermentación y separación del etanol*

| <b>Preparación de materia prima</b>       |  |   |
|---|--|---|
| <b>Tipo</b>                               | <b>Variable</b>  | <b>Análisis</b>   |
| Molienda                                  | Tamaño de partícula:<br>Para el café 2mm<br>Para la piña 0,5-2mm   | Para asegurar que el proceso de fermentación es eficiente, las partículas deben ser pequeñas para evitar la sedimentación y facilitar la digestión de las bacterias |
| Esterilización                            | Temperatura y tiempo:<br>Para el café a 120°C durante 15 minutos<br>Para la piña a 121°C durante 20 minutos  | Asegurar la inocuidad de la materia prima, para evitar la contaminación cruzada   |
| Hidrolisis química                        | Para el café se emplea H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1M durante 1 hora a 100°C<br>Para la piña se emplea H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1M durante 7 minutos a 200°C  | Se realiza para facilitar el proceso de consumo de azúcares simples, degradando la celulosa presente en los residuos agroindustriales                               |
| <b>Producción y separación del etanol</b> |  |   |
| <b>Tipo</b>                               | <b>Variable</b>  | <b>Análisis</b>   |
| Fermentación                              | Se realiza con la bacteria <i>Saccharomyces cerevisiae</i> a una concentración de 3 g/L, para un tanque de 2 L<br>Para el café la temperatura de operación es de 30°C, con un pH de 4.5, agitación 90rpm, durante 24 horas y una concentración inicial de sustrato de 6 g/L<br>Para la piña la temperatura | Proceso en la cual se produce el etanol a partir de la ruta metabólica de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .   |

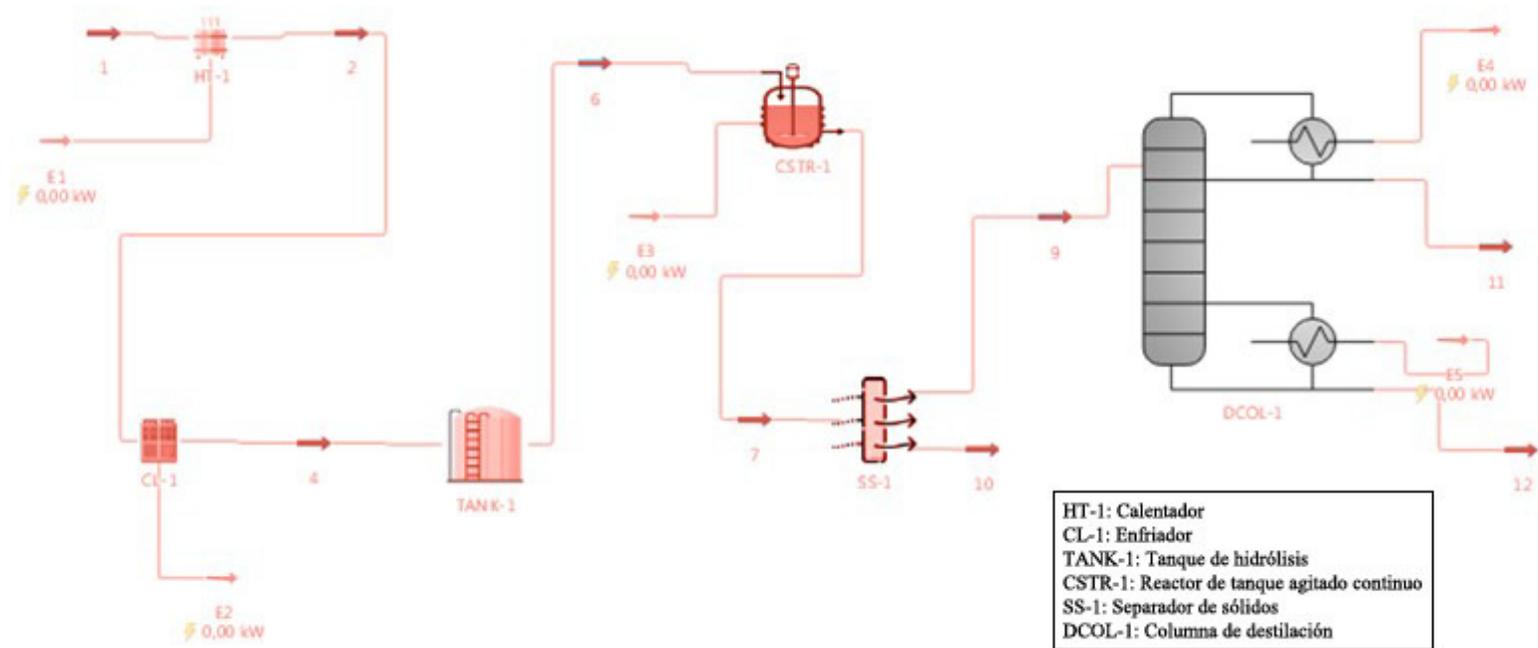
|              |  |  |
|--------------|--|--|
|              | de operación es de 30°C, con un pH de 6.0, agitación 150rpm, durante 24 horas y una concentración inicial de sustrato de 7 g/L |  |
| Centrifugado | Separación a 18000 rpm durante 5 minutos   | Proceso destinado para separar la biomasa y la materia prima no consumida del agua y metabolitos extracelulares como el etanol |
| Destilación  | Presión atmosférica, temperatura en la parte inferior de la columna 65°C y 78°C en la parte superior de la columna             | Separación del alcohol de otras materias líquidas  |

Nota. Para la elaboración de la tabla los datos para el café se tomaron de (Gouvea, Torres, Franca, Oliveira, & Oliveira, 2009; Woldesenbet, Woldeyes, & Chandravanshi, 2016; Montoya, y otros, 2019; Montoya, y otros, 2020), los datos de la piña de (Babu, Mastan, Charan, & Vaishnav, 2019; Imman, y otros, 2021; Salafia, Ferracane, & Tropea, 2022; Saini, y otros, 2022), el proceso destilativo se extrajo (Dias, y otros, 2011)

### **1.1. Diagrama para la producción de etanol a partir de residuos agropecuarios por vía fermentativa**

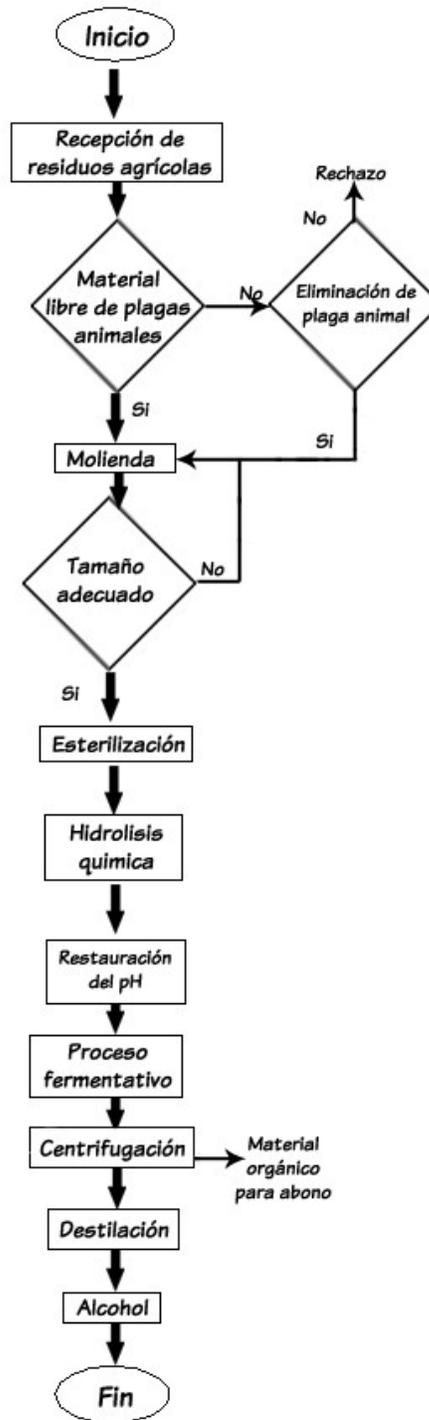
El proceso de producción de etanol se observa en la Figura 1 Diagrama de proceso de producción de Etanol, el cual contiene los equipos necesarios para la producción, el diagrama de flujo se observa en la Figura 2 Diagrama de flujo para la producción de etanol a partir de residuos agroindustriales, en la cual se tiene un calentador para esterilizar, un enfriador para bajar la temperatura, un tanque donde se realiza el proceso de hidrólisis, el fermentador, un separador de sólidos el cual cumple las funciones de la centrifuga y el destilador.

Figura 1 Diagrama de proceso de producción de Etanol



Nota. Elaboración propia en DWSIM

Figura 2 Diagrama de flujo para la producción de etanol a partir de residuos agroindustriales



Nota. Elaboración propia

## 2. EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN EL PROCESO

Al momento de realizar una optimización del proceso aplicado siempre es mejor verificar las condiciones operativas reales que se van a presentar según el sitio donde se realiza la operación productiva, con esto en mente y según la información de (Gouvea, Torres, Franca, Oliveira, & Oliveira, 2009; Woldesenbet, Woldeyes, & Chandravanshi, 2016; Montoya, y otros, 2019; Montoya, y otros, 2020) para el café tenemos que la temperatura del fermentador entre 25-50°C, el pH de 3.0 a 9.0; mientras que para la piña se tiene según la información de (Babu, Mastan, Charan, & Vaishnav, 2019; Imman, y otros, 2021; Salafia, Ferracane, & Tropea, 2022; Saini, y otros, 2022) que tiene unos rangos de temperatura del fermentador entre 25 y 40°C, el pH de 5.0 a 8.0, por lo tanto se propone un modelo de diseño central compuesto de estos 2 factores, 1 réplica y puntos axiales, además un añadido del punto óptimo de la literatura el cual se puede ver en la Tabla 3 para el café y la piña

*Tabla 2 Diseños de diseño central compuesto para el análisis de optimización de la producción de etanol a partir de los residuos de café y piña*

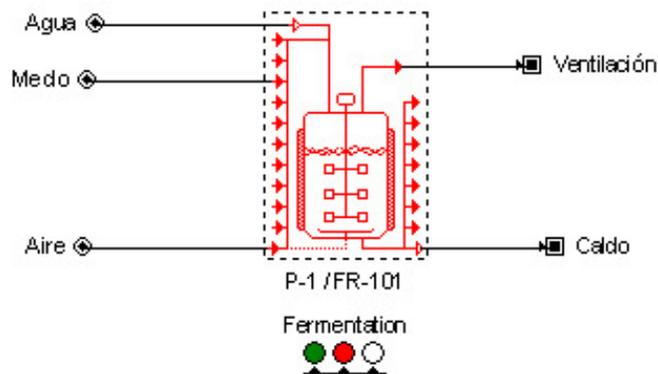
| Café             |      | Piña             |      |
|------------------|------|------------------|------|
| Temperatura (°C) | pH   | Temperatura (°C) | pH   |
| 37,50            | 9,00 | 32,50            | 6,50 |
| 28,66            | 3,88 | 32,50            | 6,50 |
| 37,50            | 3,00 | 32,50            | 6,50 |
| 28,66            | 8,12 | 25,00            | 8,00 |
| 37,50            | 6,00 | 43,11            | 6,50 |
| 37,50            | 6,00 | 32,50            | 8,62 |
| 46,34            | 3,88 | 40,00            | 8,00 |
| 25,00            | 6,00 | 21,89            | 6,50 |
| 46,34            | 8,12 | 32,50            | 6,50 |
| 37,50            | 6,00 | 40,00            | 5,00 |
| 37,50            | 6,00 | 32,50            | 4,38 |
| 37,50            | 6,00 | 32,50            | 6,50 |
| 50,00            | 6,00 | 25,00            | 5,00 |
| 30,00            | 4,50 | 30,00            | 6,00 |

Nota. Elaboración propia en Minitab

### 3. SIMULACIÓN DEL PROCESO

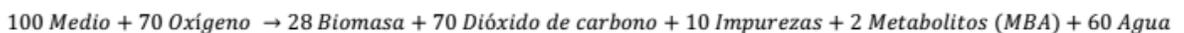
La simulación va a realizarse con base el proceso descrito por (Londoño Hernández, 2020) en la cual la ecuación de fermentación está dada en la Figura 4 Ecuación de fermentación, se trabaja bajo la ecuación de Monod en un sistema de primer orden, modificando los valores de  $\mu_{max}$  a  $0.036h^{-1}$  (Sandoval Agama, 2019), la constante de semi saturación para la piña es de 191050 mg/L (Nashiruddin, y otros, 2022) y para el café es de 2136 mg/L (Yadira, Sergio, Fernando, Sebastian, & Eapen, 2014), se realiza bajo las condiciones de operación del proceso fermentativo de la Tabla 1 Operaciones unitarias en la etapa de pretratamiento, fermentación y separación del etanol, con un ajuste en el volumen donde se trabajará con 1000L y se va a asumir que las condiciones se mantienen constantes, esto con el objetivo de que la Figura 5 Resultados de la simulación para el café y Figura 6 Resultados de la simulación para la piña arrojen resultados observables en la parte de productos.

*Figura 3 Modelo de simulación del fermentador en SuperPro Desinger*



Nota. Elaboración propia

*Figura 4 Ecuación de fermentación*



Nota. Tomada de (Londoño Hernández, 2020)

Figura 5 Resultados de la simulación para el café

| Stream Name                    | Agua   | Medio    | Aire       | Ventilación |
|--------------------------------|--------|----------|------------|-------------|
| Source                         | INPUT  | INPUT    | INPUT      | P-1         |
| Destination                    | P-1    | P-1      | P-1        | OUTPUT      |
| Stream Properties              |        |          |            |             |
| Activity (U/ml)                | 0.00   | 0.00     | 0.00       | 0.00        |
| Temperature (°C)               | 25.00  | 25.00    | 25.00      | 30.00       |
| Pressure (bar)                 | 1.01   | 1.01     | 1.01       | 1.01        |
| Density (g/L)                  | 994.70 | 1,012.48 | 1.18       | 1.16        |
| Total Enthalpy (kW-h)          | 28.92  | 0.26     | 6.56       | 7.90        |
| Specific Enthalpy (kcal/kg)    | 25.11  | 25.07    | 6.05       | 7.27        |
| Heat Capacity (kcal/kg-°C)     | 1.00   | 1.00     | 0.24       | 0.24        |
| Component Flowrates (kg/batch) |        |          |            |             |
| Biomass                        | 0.00   | 3.00     | 0.00       | 0.00        |
| Carb. Dioxide                  | 0.00   | 0.00     | 0.00       | 0.19        |
| Medio                          | 0.00   | 6.00     | 0.00       | 0.00        |
| Nitrogen                       | 0.00   | 0.00     | 715.90     | 716.82      |
| Oxygen                         | 0.00   | 0.00     | 217.33     | 217.42      |
| Water                          | 991.00 | 0.00     | 0.00       | 0.00        |
| TOTAL (kg/batch)               | 991.00 | 9.00     | 933.24     | 934.43      |
| TOTAL (L/batch)                | 996.28 | 8.89     | 791,402.95 | 805,659.44  |

| Stream Name                    | Caldo    |
|--------------------------------|----------|
| Source                         | P-1      |
| Destination                    | OUTPUT   |
| Stream Properties              |          |
| Activity (U/ml)                | 0.00     |
| Temperature (°C)               | 5.00     |
| Pressure (bar)                 | 0.86     |
| Density (g/L)                  | 1,002.14 |
| Total Enthalpy (kW-h)          | 5.86     |
| Specific Enthalpy (kcal/kg)    | 5.04     |
| Heat Capacity (kcal/kg-°C)     | 1.01     |
| Component Flowrates (kg/batch) |          |
| Biomass                        | 3.08     |
| Impurezas                      | 0.03     |
| MAB                            | 0.01     |
| Medio                          | 5.72     |
| Water                          | 991.17   |
| TOTAL (kg/batch)               | 1,000.00 |
| TOTAL (L/batch)                | 997.87   |

Nota. Elaboración propia en SuperPro Designer

Figura 6 Resultados de la simulación para la piña

| Stream Name                    | Agua   | Medio    | Aire       | Ventilación |
|--------------------------------|--------|----------|------------|-------------|
| Source                         | INPUT  | INPUT    | INPUT      | P-1         |
| Destination                    | P-1    | P-1      | P-1        | OUTPUT      |
| Stream Properties              |        |          |            |             |
| Activity (U/ml)                | 0.00   | 0.00     | 0.00       | 0.00        |
| Temperature (°C)               | 25.00  | 25.00    | 25.00      | 30.00       |
| Pressure (bar)                 | 1.01   | 1.01     | 1.01       | 1.01        |
| Density (g/L)                  | 994.70 | 1,010.67 | 1.18       | 1.16        |
| Total Enthalpy (kW-h)          | 28.89  | 0.29     | 6.56       | 8.17        |
| Specific Enthalpy (kcal/kg)    | 25.11  | 25.07    | 6.05       | 7.52        |
| Heat Capacity (kcal/kg-°C)     | 1.00   | 1.00     | 0.24       | 0.24        |
| Component Flowrates (kg/batch) |        |          |            |             |
| Biomass                        | 0.00   | 3.00     | 0.00       | 0.00        |
| Carb. Dioxide                  | 0.00   | 0.00     | 0.00       | 4.57        |
| Medio                          | 0.00   | 7.00     | 0.00       | 0.00        |
| Nitrogen                       | 0.00   | 0.00     | 715.90     | 716.82      |
| Oxygen                         | 0.00   | 0.00     | 217.33     | 213.04      |
| Water                          | 990.00 | 0.00     | 0.00       | 0.00        |
| TOTAL (kg/batch)               | 990.00 | 10.00    | 933.24     | 934.43      |
| TOTAL (L/batch)                | 995.27 | 9.89     | 791,402.95 | 804,729.82  |

| Stream Name                    | Caldo    |
|--------------------------------|----------|
| Source                         | P-1      |
| Destination                    | OUTPUT   |
| Stream Properties              |          |
| Activity (U/ml)                | 0.00     |
| Temperature (°C)               | 5.00     |
| Pressure (bar)                 | 0.86     |
| Density (g/L)                  | 1,002.22 |
| Total Enthalpy (kW-h)          | 5.86     |
| Specific Enthalpy (kcal/kg)    | 5.04     |
| Heat Capacity (kcal/kg-°C)     | 1.01     |
| Component Flowrates (kg/batch) |          |
| Biomass                        | 4.83     |
| Impurezas                      | 0.85     |
| MAB                            | 0.13     |
| Medio                          | 0.46     |
| Water                          | 993.92   |
| TOTAL (kg/batch)               | 1,000.00 |
| TOTAL (L/batch)                | 997.79   |

Nota. Elaboración propia en SuperPro Designer

*Tabla 3 Resultados de la simulación del proceso fermentativo de la producción de etanol a partir de piña y café a lo largo de las 24 horas del proceso*

| Tiempo<br>(h) | Piña             |                 |                | Café             |                 |                |
|---------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|----------------|
|               | Biomasa<br>(g/L) | Etanol<br>(g/L) | Medio<br>(g/L) | Biomasa<br>(g/L) | Etanol<br>(g/L) | Medio<br>(g/L) |
| 0,0000        | 2,9791           | 0,0000          | 6,9513         | 2,9791           | 0,0000          | 5,9583         |
| 1,2000        | 2,9836           | 0,0003          | 6,9352         | 3,0746           | 0,0068          | 5,6173         |
| 2,4000        | 2,9882           | 0,0006          | 6,9191         | 3,1715           | 0,0137          | 5,2713         |
| 3,6000        | 2,9927           | 0,0010          | 6,9030         | 3,2695           | 0,0207          | 4,9214         |
| 4,8000        | 2,9972           | 0,0013          | 6,8869         | 3,3684           | 0,0278          | 4,5684         |
| 6,0000        | 3,0017           | 0,0016          | 6,8708         | 3,4677           | 0,0349          | 4,2138         |
| 7,2000        | 3,0062           | 0,0019          | 6,8547         | 3,5671           | 0,0420          | 3,8591         |
| 8,4000        | 3,0107           | 0,0023          | 6,8387         | 3,6658           | 0,0490          | 3,5064         |
| 9,6000        | 3,0152           | 0,0026          | 6,8226         | 3,7635           | 0,0560          | 3,1577         |
| 10,8000       | 3,0197           | 0,0029          | 6,8066         | 3,8593           | 0,0629          | 2,8157         |
| 12,0000       | 3,0242           | 0,0032          | 6,7906         | 3,9525           | 0,0695          | 2,4828         |
| 13,2000       | 3,0286           | 0,0035          | 6,7746         | 4,0422           | 0,0759          | 2,1625         |
| 14,4000       | 3,0331           | 0,0039          | 6,7586         | 4,1276           | 0,0820          | 1,8577         |
| 15,6000       | 3,0376           | 0,0042          | 6,7426         | 4,2076           | 0,0877          | 1,5720         |
| 16,8000       | 3,0421           | 0,0045          | 6,7266         | 4,2813           | 0,0930          | 1,3087         |
| 18,0000       | 3,0465           | 0,0048          | 6,7107         | 4,3481           | 0,0978          | 1,0705         |
| 19,2000       | 3,0510           | 0,0051          | 6,6947         | 4,4070           | 0,1020          | 0,8601         |
| 20,4000       | 3,0555           | 0,0055          | 6,6788         | 4,4579           | 0,1056          | 0,6784         |
| 21,6000       | 3,0599           | 0,0058          | 6,6629         | 4,5005           | 0,1086          | 0,5263         |
| 22,8000       | 3,0644           | 0,0061          | 6,6470         | 4,5353           | 0,1111          | 0,4018         |
| 24,0000       | 3,0688           | 0,0064          | 6,6311         | 4,5631           | 0,1131          | 0,3027         |

Nota. Elaboración propia en SuperPro Designer

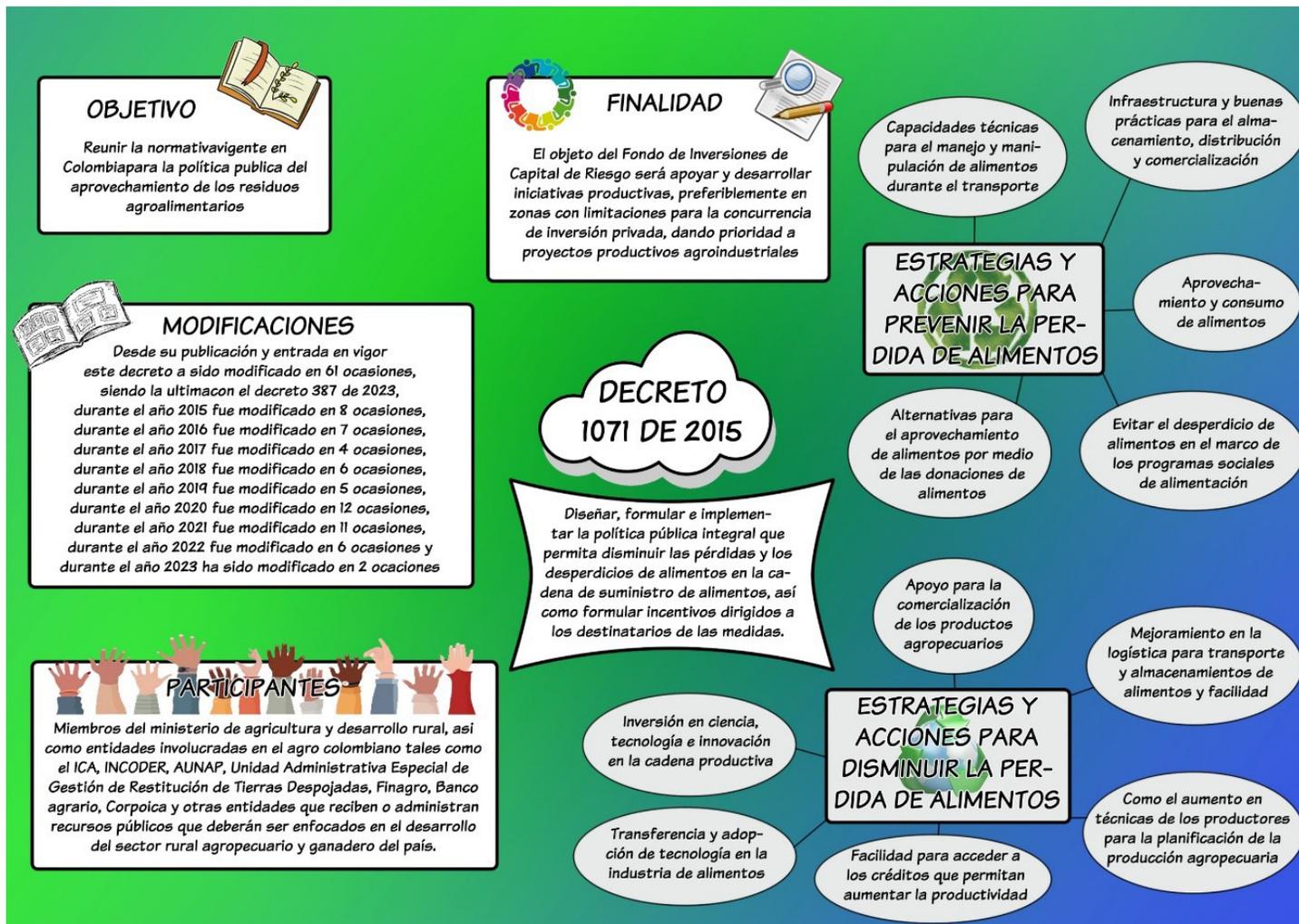
Como se puede observar en la Tabla 3 Resultados de la simulación del proceso fermentativo de la producción de etanol a partir de piña y café luego de las 24 horas de operación para el piña tenemos una producción de 3.0562 g/L de biomasa, en total 3.0562 kg de biomasa y 0.0064 g/L de etanol, en total 0.0064 Kg de etanol producidos en el fermentador; mientras que para la café tenemos una producción de 4.7972 g/L de biomasa, en total 4.7942 kg de biomasa y 0.1298 g/L de etanol, en total 0.1298 Kg de etanol producidos en el fermentador. Al momento de ajustar las variables en el simulador se varía el valor de la constante Ks entre los 2 medios utilizados, esto se debe a que el valor del Ks depende tanto del microorganismo sobre el cual se trabaja, el medio que se emplea, las condiciones de temperatura, pH (Sivarathnakumar, y otros, 2019). Dado el rendimiento y la

disponibilidad de materia prima sería mejor trabajar en fermentación alcohólica para la producción de etanol a partir de los residuos de café.

#### **4. POLÍTICA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES**

Para Colombia tenemos que lo referente a la política pública para el aprovechamiento de residuos de carácter agroindustrial está regido por el Decreto 1071 del año 2015, en este decreto se estipulan las medidas permitidas, incentivos, tipos de propuestas para el aprovechamiento, entidades encargadas de emitir permisos y vigilar las actividades concernientes al aprovechamiento de residuos agroindustriales en las diferentes etapas de producción, procesamiento y distribución de los alimentos producidos o consumidos en el país.

Figura 7 Infografía de las políticas públicas para el aprovechamiento de residuos agroindustriales



Nota. Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Aunque el decreto 1071 de 2015 propone medidas para ayudar a reducir el desperdicio de alimentos, este decreto al no tener un carácter sancionatorio a las personas o empresas que no lo cumplen no ayuda a reducir de forma eficaz los desperdicios alimenticios. Además la falta de apoyo a los sectores industriales y a los campesinos colombianos por parte del gobierno y de la sociedad dificulta la implementación de iniciativas productivas que puedan ayudar a reducir la pérdida de alimentos al aprovecharlos como subproductos.

Para encontrar las condiciones operativas óptimas para un proceso, se debe considerar el proceso completo en su conjunto, esto incluye tanto el microorganismo sobre el que vamos a trabajar, el sustrato, el tamaño del tanque y las dimensiones que este tiene, luego de esto se debe considerar el pH, temperatura y aireación que el proceso necesita para tener la máxima producción de la sustancia de interés.

Al momento de seleccionar una materia prima para un proceso, se debe considerar no solo el rendimiento que esta puede ofrecer, también es necesario considerar los gastos de transporte, tratamiento y la disponibilidad que esta materia prima, no solo a nivel de volumen total, también se debe considerar el cuándo estará disponible, debido a que los cultivos estacionarios solo estarán disponibles luego de su cosecha y los cultivos permanentes están disponibles en todo momento para ser utilizados.

## BIBLIOGRAFÍA

BABU, P. Ramesh, MASTAN, M., CHARAN, K., & VAISHNAV, Virendra. Optimization of ethanol production from pineapple peel by *Saccharomyces cerevisiae*. En: International Journal of Advanced Scientific Research and Management. 2019. vol. 4. no. 5, p. 355-358.  
[http://ijasrm.com/wp-content/uploads/2019/05/IJASRM\\_V4S5\\_1512\\_355\\_358.pdf](http://ijasrm.com/wp-content/uploads/2019/05/IJASRM_V4S5_1512_355_358.pdf)

BIZAGI. ¿Qué es el un modelamiento de procesos de negocio? {En línea} (2021, 25 de enero) {20 de Marzo de 2023} disponible en:  
<https://www.bizagi.com/es/modelamiento-de-procesos>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, SINERGIA. Pérdida y desperdicio de Alimentos en Colombia. Departamento Nacional de Planeación {En línea} (2021, 16 de Junio) {8 de Febrero de 2023} disponible en:  
<https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico/minambiente-interesado-en-ayudar-a-disminuir-el-desperdicio-de-alimentos/>

DIAS, Marina O., MODESTO, Marcelo, ENSINAS, Adriano V., NEBRA, Silvia A., MACIEL FILHO, Rubens, & ROSSELL, Carlos E.V.. Improving bioethanol production from sugarcane: evaluation of distillation, thermal integration and cogeneration systems. En: Energy, 2011. vol. 36. no. 6. p. 3691-3703.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2010.09.024>

DUQUE, Aleta, ÁLVAREZ, Cristina, DOMÉNECH, Pablo, MANZANARES, Paloma, & MORENO, Antonio D.. Advanced bioethanol production: From novel raw materials to integrated biorefineries. En: Processes, 2021. vol. 9. no. 2. p. 206.  
<https://doi.org/10.3390/pr9020206>

EDITOR1. Se fortalece cadena productiva de piña en Tauramena. En: El diario del Llano {En línea} (2020, 2 de Septiembre) {8 de Febrero de 2023} En:  
<https://eldiariodelllano.com/se-fortalece-cadena-productiva-de-pina-en-tauramena/>

FCEN. Operaciones Unitarias, Conceptos Generales {En línea} (2020, 23 de Octubre) {8 de Febrero de 2023}. En: <https://fcen.uncuyo.edu.ar/catedras/unidad-n3operaciones-unitarias-1.pdf>

FERNÁNDEZ-CORTÉS, Yessica, SOTTO-RODRÍGUEZ, Karla Daniela, & VARGAS-MARÍN, Luis Alberto. Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. En: *Producción+limpia*. 2020. vol. 15. no. 1. p. 93-110. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>

GOUVEA, B. M., TORRES, C., FRANCA, A. S., OLIVEIRA, L. S., & OLIVEIRA, E. S. Feasibility of ethanol production from coffee husks. En: *Biotechnology letters*. 2009. Vol. 31. no. 9. p. 1315-1319. <https://doi.org/10.1007/s10529-009-0023-4>

GRANADOS PÉREZ, William, & AGUILLÓN MAYORGA, Daniel Mauricio. Cadena de la Piña. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadena {En línea} (2019, 30 de Octubre) {8 de Febrero de 2023}. En: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Pasifloras/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales%20PI%C3%91A.pdf>

IMMAN, Saksit, KREETACHAT, Torpong, KHONGCHAMNAN, Punjarat, LAOSIRIPOJANA, Navadol, CHAMPREDA, Verawt, SUWANNAHONG, Kowit, SAKULTHAEW, Chainarong, CHOKEJAROENRAT, Chanat, & SURIYACHAI, Nopparat. Optimization of sugar recovery from pineapple leaves by acid-catalyzed liquid hot water pretreatment for bioethanol production. En: *Energy Reports*. 2021. vol. 7. P. 6945-6954. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.10.076>

JARRAH, Mahboube, MAYEL, Sonia, TATARKO, John, FUNK, Roger, & KUKA, Katrin. A review of wind erosion models: Data requirements, processes, and validity. En: *Catena*. 2020. vol. 187. p.104388. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104388>

LONDOÑO HERNÁNDEZ, Liliana. Guía para el desarrollo del componente práctico y rúbrica de evaluación - Unidad 3 - Fase 4 - Componente práctico - Práctica Simulada. Política pública en el aprovechamiento biotecnológico de residuos agroalimentarios - (202097161a\_1435) {En línea} (2020, 18 de Junio) {20 de Marzo, 2023}. En: [https://campus107.unad.edu.co/ecbti116/pluginfile.php/5801/mod\\_folder/content/0/Gu%C3%ADa%20para%20el%20desarrollo%20del%20componente%20pr](https://campus107.unad.edu.co/ecbti116/pluginfile.php/5801/mod_folder/content/0/Gu%C3%ADa%20para%20el%20desarrollo%20del%20componente%20pr)

%C3%A1ctico%20y%20r%C3%BAbrica%20de%20evaluaci%C3%B3n%20-%20Unidad%203%20-%20Fase%204%20-%20Componente%20pr%C3%A1ctic

MINCIENCIAS. Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación PEDCTI Casanare. {En línea} (2013, 15 de Enero) {8 de Febrero 2023} En: <https://www.minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/pedcti-casanare.pdf>

MISRAN, Effaliza, IDRIS, Ani, Mat SARIP, Siti Hajar, & YA'AKOB, Harisun. Properties of bromelain extract from different parts of the pineapple variety Morris. En: *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2019. vol. 18. p. 101095. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101095>

NASHIRUDDIN, Noor Idayu, ABD RAHMAN, Noor Hidayah ABD, RAHMAN, Roshanida A., MD. ILLIAS, Rosli, GHAZALI, Nazlee Faisal, ABOMOELAK, Bassam, & El ENSHASY, Hesham Ali. Improved Sugar Recovery of Alkaline Pre-Treated Pineapple Leaf Fibres via Enzymatic Hydrolysis and Its Enzymatic Kinetics. En: *Fermentation*. 2022. vol. 8. no. 11. p. 640. <https://doi.org/10.3390/fermentation8110640>

NÚÑEZ, Andrés. Cadena Café. Sistema de Información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas {En línea} (2020, 13 de Mayo) {8 de Febrero de 2023} En: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Cafe/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

OPERACIONES UNITARIAS EN LA BIOTECNOLOGÍA. Ejemplos de operaciones unitarias. {En línea} (2017, 30 de Abril) {9 de febrero de 2023} En: <https://5c61ce83d1052.site123.me/mi-blog/ejemplos-de-operaciones-unitarias>

PÉREZ-SARIÑANA, Bianca Yadira, SALDAÑA-TRINIDAD, Sergio, FERNANDO, S.E.L., SEBASTIAN, P.J. & EAPEN, D. Bioethanol production from coffee mucilage. En: *Energy Procedia*. 2014. vol. 57. p. 950-956. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.077>

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto 1071 de 2015 por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural. Bogotá D.C.: Presidencia de la

República de Colombia 2015

[https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=76838](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=76838)

RAMOS TANTALEÁN, Kathia Franshesca. Optimización del proceso productivo del alcohol etílico utilizando herramientas de lean manufacturing en la empresa Agropucalá SAA Chiclayo-2019, 2020, 20p. Tesis para el Título profesional de Ingeniero Industrial, Universidad Señor de Sipán. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/7540>

RIVERA, Fernando F., PÉREZ, Tzayam, CASTAÑEDA, Locksley F., & Nava, Jose L. Mathematical modeling and simulation of electrochemical reactors: A critical review. En: Chemical Engineering Science. 2021. vol. 239. p. 116622. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2021.116622>

SAINI, Reetu, CHEN, Chiu-Wen, PATEL, Anil Kumar, SAINI, Jitendra Kumar, DONG, Cheng-Di, & SINGHANIA, Reeta Rani. Valorization of Pineapple Leaves Waste for the Production of Bioethanol. En: Bioengineering. 2022. vol. 9. no. 10. p. 557. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9100557>

SALAFIA, Fabio, FERRACANE, Antonio, & TROPEA, Alessia. Pineapple Waste Cell Wall Sugar Fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* for Second Generation Bioethanol Production. En: Fermentation. 2022. vol. 8. no. 3. p. 100. <https://doi.org/10.3390/fermentation8030100>

SANDOVAL AGAMA, Edgar Daniel. Obtención de parámetros cinéticos para el crecimiento del microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* en reactor CSTR. 2019. 41-42p. Tesis para el título de Ingeniería Química, Universidad Central del Ecuador. Repositorio digital. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18785>

SASTOQUE CAMPOS, Mauro. La importancia de modelización, simulación y optimización de los procesos industriales. {En línea} (2021, 15 de Octubre) {20 de febrero de 2023} En: <https://www.virtualpro.co/noticias/la-importancia-de-modelizacion--simulacion-y-optimizacion-de-los-procesos-industriales>

SEMANA. Lanzas proyecto para mejorar la producción de café en Casanare. {En línea} (2021, 31 de Diciembre) {9 de febrero de 2023} En: <https://www.semana.com/nacion/articulo/lanzas-proyecto-para-mejora-la-produccion-de-cafe-en-casanare/202101/>

SENASA. SUBPRODUCTOS. {En línea} (8 de Julio de 2015) {8 de Febrero de 2023} En: <http://www.senasa.gob.ar/cadena-animal/bovinos-y-bubalinos/industria/productos-y-subproductos/subproductos>

SIVARATHNAKUMAR, S., JAYAMUTHUNAGAI, J., BASKAR, G., PRAVEENKUMAR, R., SELVAKUMARI, I. A., & BHARATHIRAJA, B. Bioethanol production from woody stem *Prosopis juliflora* using thermo tolerant yeast *Kluyveromyces marxianus* and its kinetics studies. En: *Bioresource technolog.* 2019. vol. 293. p. 122060. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122060>

STRAATHOF, Adrie J., WAHL, S. Aljoscha, BENJAMIN, Kirten R., TAKORS, Ralf, WIERCKX, Nick, & NOORMAN, Henk J.. Grand research challenges for sustainable industrial biotechnology. En: *Trends in biotechnology.* 2019. vol. 37. no. 10. p. 1042-1050. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2019.04.002>

VELASCO, Iliana. Simulación dinámica de bioprocesos. {En línea} (2021, 5 de Mayo) {20 de Marzo de 2023} En: [https://dmd.unadmexico.mx/contenidos/DCSBA/BLOQUE1/BI/08/BSDP/unidad\\_01/descargables/BSDP\\_U1\\_Contenido.pdf](https://dmd.unadmexico.mx/contenidos/DCSBA/BLOQUE1/BI/08/BSDP/unidad_01/descargables/BSDP_U1_Contenido.pdf)

VILLA MONTOYA, Alejandra Carolina, DA SILVA MAZARELI, Raissa Cristina, DELFORNO, Tiago Palladino, CENTURION, Victor Borin, DE OLIVEIRA, Valéria Maia, SILVA, Edson Luiz, & VARESCHE, Maria Bernadete. Optimization of key factors affecting hydrogen production from coffee waste using factorial design and metagenomic analysis of the microbial community. En: *International Journal of Hydrogen. Energy.* 2020. vol. 45. no. 7. p. 4205-4222. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.062>

VILLA MONTOYA, Alejandra Carolina, DA SILVA MAZARELI, Raissa Cristina, DELFORNO, Tiago Palladino, CENTURION, Victor Borin, SAKAMOTO, Isabel Kimiko, DE OLIVEIRA, Valéria Maia, SILVA, Edson Luiz, & VARESCHE, Maria Bernadete. Hydrogen, alcohols and volatile fatty acids from the co-digestion of coffee waste (coffee pulp, husk, and processing wastewater) by applying autochthonous microorganisms. En: *International Journal of Hydrogen Energy.* 2019. vol. 44. no. 39. p. 21434-21450. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.06.115>

WOLDESENBET, Asrat Gebremariam, WOLDEYES, Belay, & CHANDRAVANSI, Bhagwan Singh. Bio-ethanol production from wet coffee processing waste in Ethiopia. En: SpringerPlus. 2016. vol. 5. p. 1-7. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3600-8>