

DISEÑO CONCEPTUAL DE UN PROCESO DE EXTRACCIÓN Y PURIFICACIÓN  
DE MELANINA A PARTIR DE IMAGOS DE LA MOSCA SOLDADO NEGRA  
(*HERMETIA ILLUCENS*) DENTRO DEL ESQUEMA DE BIORREFINERÍA.

CONCEPTUAL DESIGN OF A MELANIN EXTRACTION AND PURIFICATION  
PROCESS FROM IMAGES OF THE BLACK SOLDIER FLY (*HERMETIA  
ILLUCENS*) WITHIN THE BIOREFINERY SCHEME

Angie Medina Medina

Miguel Alfonso Villamil Peraza

[angie.medina@estudiantes.uamerica.edu.co](mailto:angie.medina@estudiantes.uamerica.edu.co)

[miguel.villamil@estudiantes.uamerica.edu.co](mailto:miguel.villamil@estudiantes.uamerica.edu.co)

Director: Felipe Correa Maecha

[Felipe.correa@profesores.uamerica.edu.co](mailto:Felipe.correa@profesores.uamerica.edu.co)

Departamento de Ingeniería, Fundación Universidad de América,

## RESUMEN

En este artículo, se desarrolla el estudio de la melanina en el imago de mosca soldado-negra, (*Hermetia illucens*.) Esta especie ha sido objeto de estudio en diferentes campos de la ciencia debido a sus notables características biológicas. La melanina, un pigmento usado en diferentes industrias como lo son, pigmentos y tintes, protección UV en materiales, bio medicina y cosmética entre otros. Por lo tanto, el presente proyecto realiza la caracterización y extracción de la melanina en los imagos de mosca soldado negro (*Hermetiza illucens*) usando los métodos de química verde y comparado los con el rendimiento de métodos convencionales. El estudio se compone de dos enfoques complementarios: una revisión bibliográfica que consolida el conocimiento actual sobre la melanina en la *Hermetia illucens* y la implementación de métodos estandarizados en el laboratorio para la extracción y purificación de la melanina a partir de imagos de la mosca. Un aspecto destacado de esta investigación es la aplicación de principios de química verde, que se enfoca en minimizar el impacto ambiental de las operaciones, haciendo que el proceso sea más sostenible.

**Palabras Clave:** Desprotección, imago, melanocitos, Extracción, Melanina

## ABSTRACT

In this article, the study of melanin in the imago of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) is developed. This species has been the subject of study in different fields of science due to its remarkable biological characteristics. Melanin, a pigment used in different industries such as pigments and dyes, UV protection in materials, bio medicine and cosmetics among others. Therefore, the present project performs the characterization and extraction of melanin in black soldier fly (*Hermetia illucens*) imagos using green chemistry methods and compares them with the performance of conventional methods. The study is composed of two complementary approaches: a literature review consolidating current knowledge on melanin in *Hermetia illucens* and the implementation of standardized methods in the laboratory for melanin extraction and purification from fly imagos. A highlight of this research is the application of green chemistry principles, which focuses on minimizing the environmental impact of the operations, making the process more sustainable.

**Keywords:** Deproteinization, imago, melanocytes, Extraction, Melanin

## 1. INTRODUCCIÓN

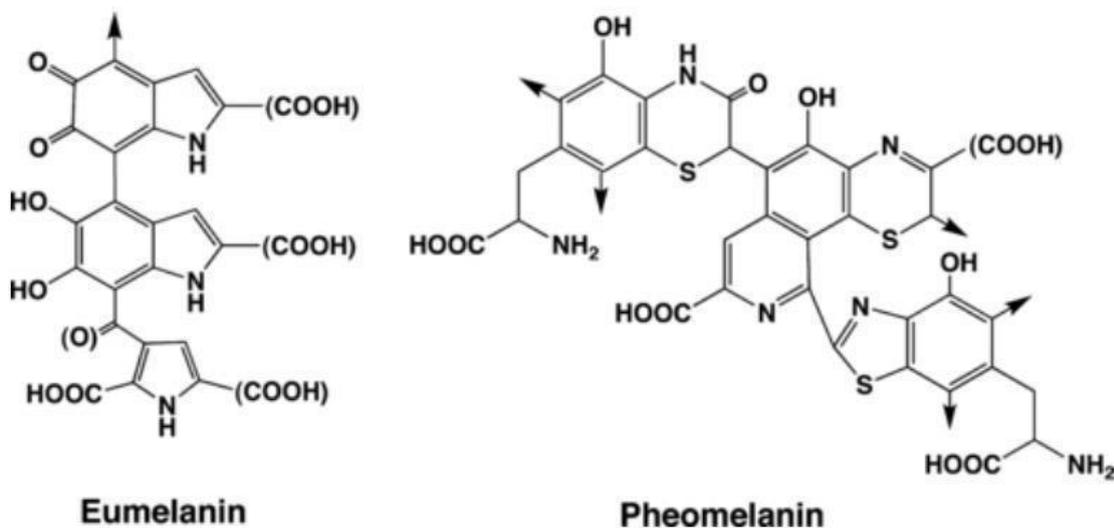
En el ámbito de la sostenibilidad ambiental, se ha desarrollado un interés creciente en los solventes verdes, los cuales se utilizan en procesos de extracción que cumplen con requisitos ambientales específicos, como ser renovables, biodegradables, no tóxicos y suelen tener la característica de tener un bajo impacto en el medio ambiente. Esta alternativa ha surgido como respuesta a la necesidad de reducir el impacto ambiental de los procesos químicos, ofreciendo así una forma más sostenible a los solventes convencionales. Algunos ejemplos de estos solventes incluyen los derivados de biomasa, los fluidos supercríticos y los gases licuados.

Las formas adultas de la mosca soldado negra, conocidas como "imagos", son las etapas en las que este insecto alcanza la edad adulta. Estos imagos cuentan con un tamaño moderado, midiendo entre 15 y 20 milímetros de largo. Sus cuerpos son fuertes y negros, mientras que sus alas muestran un tono semitransparente de gris oscuro o marrón claro. Las hembras de imagos poseen una probóscide (probóscide) bien desarrollada que les resulta útil para sus necesidades alimentarias. Además, puedes encontrar dos alas transparentes en el segundo segmento de su tórax. En cuanto a las antenas del adulto, se extienden elegantemente con tres segmentos, mientras que las patas lucen una tonalidad blanquecina hacia sus puntas. Después de dos días de que el adulto emerge de la pupa, surge la oportunidad de aparearse. Este intrincado proceso implica que el macho intercepte a una hembra que pasa mientras está en el aire, y juntos descienden para copular. Curiosamente, se ha observado que los machos tienen lugares particulares donde prefieren llevar a cabo este acto de reproducción. [2]. Los machos utilizan sitios específicos para copular. Los imagos de la mosca soldado negra son objeto de estudio en diversos campos de la ciencia, lo que ha permitido descubrir aplicaciones potenciales, como su uso en la producción de harina para alimentación animal y la extracción de compuestos como la quitina, quitosano y melanina [1]. Además, se ha investigado el potencial uso de estas larvas en la gestión de desechos municipales, aprovechando su capacidad para alimentarse de desechos orgánicos [2]. Las melaninas, cuyo nombre proviene del término griego 'melanos' que significa 'oscuro', representan uno de los biopolímeros más enigmáticos dentro de la biosfera, a pesar de su amplia presencia en la naturaleza. Estos biopolímeros se producen mediante la oxidación y unión de precursores fenólicos/indólicos. La intensidad de la coloración se determina en gran

medida por la capacidad de las células especializadas para generar eumelanina, de tonalidad marrón-negra, y feomelanina (Figura 1.), de tonalidad amarillo-rojiza. Se suele describir a la eumelanina como una macromolécula heterogénea compuesta por 5,6- dihidroxindol y ácido 5,6-dihidroindol-2-carboxílico, en su forma 2-carboxilada [20] . Es un biomaterial natural de gran importancia presente en una amplia gama de organismos vivos en distintos reinos biológicos. Su amplia presencia, desde microorganismos hasta plantas y animales superiores, se debe a sus diversas funciones, como la pigmentación, la neutralización de radicales, la defensa contra la radiación y el control térmico [4].

**Figura 1.**

*Estructura molecular de la eumelanina y la feomelanina[18]*



**Nota.** Estructuras de eumelanina y feomelanina compuesta de poliacetileno, polipirrol, y polianilín, se indica con una flecha las posiciones para la unión. Tomado de: Estructura de eumelanina y feomelanina. Las posiciones con (COOH)...*DescargarDiagramaCientífico.*(2008).

[https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-eumelanin-and-pheomelanin-The-positions-with-COOH-in-eumelanin\\_fig2\\_331903150](https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-eumelanin-and-pheomelanin-The-positions-with-COOH-in-eumelanin_fig2_331903150)

La melanina como ya se conoce, es producida por medio de células melanocitos, la producción de esta es influenciada por factores genéticos, ambientales o hormonales, la melanina se puede encontrar en diferentes fuentes como organismos ya sean en plantas, animales, microorganismos o humanos. Por ejemplo, en el caso de los humanos o en los animales una fuente de melanina se encuentra en la piel, cabello y ojos donde esta se encarga de definir el color, ya que su distribución depende de que

esta sea clara u oscura. Sin embargo, la melanina puede ser obtenida por medio de fuentes sintéticas que pueden ser creadas en laboratorio o por medio de extracciones naturales para usos específicos en la industria. Las funciones de radioprotección (función de que da respuesta al estrés térmico), las propiedades fisicoquímicas de la melanina pueden ser usadas en la industria como: **Cosméticos:** Gracias a su capacidad de la melanina de absorber radiación, se utiliza en la industria cosmética en la fabricación de protectores solares que tiene como función proteger la piel de daños causados por los rayos UV así mismo, es usado como tintes capilares, **Biorremediación:** Gracias a su capacidad de atrapar compuestos orgánicos volátiles, la melanina al “atrapar” metales pesados, hace esta como una opción óptima para eliminar metales pesados del agua por medio de hongos metanogénicos, **Alimentos:** Debido a sus propiedades antioxidantes la melanina se usa para el empacamiento de tocino o grasas, al usarla evita que se oxiden las grasas; con esto se evita que se dañe el producto al producir malos olores, **Pigmentos:** Las melaninas fúngicas al ser seguras y amigables con el medio ambiente estas son usadas como pigmentos en la industria de alimentos y textiles [27], **Eléctricos:** Por su conductividad que ofrece la melanina, se está usando para la fabricación de sensores y componentes de baterías [26]

Para alcanzar los objetivos de este estudio, se emplearán dos enfoques complementarios. En primer lugar, se seleccionarán los principios de la química verde los cuales promoverán las prácticas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en el campo de la química y la industria. Al aplicar los principios de la química verde, se busca minimizar o eliminar el uso de sustancias tóxicas, reducir la generación de residuos, utilizar recursos renovables y mejorar la eficiencia en los procesos químicos [5], lo que resultará en un proceso más respetuoso con el medio ambiente. En segundo lugar, se llevará a cabo una revisión bibliográfica de investigaciones previas relacionadas con la caracterización de la melanina en otras especies. Esto permitirá establecer comparaciones y resaltar las características únicas de la melanina de la mosca soldado-negro.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Caracterización

Se hizo un estudio de identificando diferentes factores para así poder caracterizar la mosca soldado negra usando métodos convencionales donde podemos definir los siguientes aspectos:

#### 2.1.1. Contenido de humedad

Este procedimiento comienza pesando 5 g imagos de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) a temperatura ambiente en una cápsula de porcelana previamente acondicionada, en una balanza analítica para en un horno de mufla precalentado a 30°C agregar la muestra durante 1 hora, haciéndole un respectivo seguimiento cada media hora y luego de este tiempo dejando enfriar la muestra en un desecador por media hora para evitar la absorción de humedad del ambiente y pesar el contenido final de la muestra. [19]

Donde la relación de contenido de humedad se calculó de la siguiente manera:

$$\%Hbh = \frac{mh - ms}{mh} \times 100\% \quad \text{Ecuación [1]}$$

Donde:

$m_h$ : Masa de la muestra humedad donde sus unidades son en gramos (g)

$m_s$ : Masa de la muestra seca donde sus unidades son en gramos (g)

#### 2.1.2. Contenido de cenizas

Se realizó el respectivo pesado de 5 g de imagos de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) en una balanza analítica usando una cápsula de porcelana previamente acondicionada, en un horno de mufla precalentado a 650 °C se agregó la muestra durante 4 horas, realizando un respectivo seguimiento cada media hora, al cumplirse el tiempo estipulado se dejó enfriar la muestra hasta temperatura ambiente en un

desecador para evitar la absorción de humedad y se pesó el contenido final de la muestra. [12]

Donde la relación de contenido de cenizas se calculó de la siguiente manera:

$$\%CENIZA = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad \text{Ecuación [2]}$$

Donde:

$m_1$ : Masa inicial

$m_2$ : Masa final

### **2.1.3. Tamaño de partícula**

Inicialmente se redujo el tamaño de la muestra (500 g) con un mortero de porcelana con exterior esmaltado de 500 ml para poder trabajar con un tamaño menor lo que facilitó a el área expuesta y por consiguiente una mayor extracción, este procedimiento implica medir las dimensiones de las partículas sólidas, usando tamices de 2mm, 1,4mm, 850 mm diferentes tamaños para separar las partículas según su tamaño identificando mediante su peso la cantidad retenida en cada tamiz y calculando el porcentaje del material en cada fracción.[21]

Para calcular el 80% de las partículas retenidas se realiza una interpolación al 80 con la siguiente fórmula:

$$Y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} * (x - x_0) \quad \text{Ecuación [3]}$$

### **2.1.4. Contenido de melanina**

El proceso comienza con la desmineralización lavando 120 g imagos de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) a temperatura ambiente con un frasco de lavado para eliminar cualquier residuo o contaminante con 900 ml de agua destilada, para luego secar la muestra en un horno de mufla a 30°C durante 1 hora, seguido de una reducción de tamaño con un mortero de porcelana con exterior esmaltado, hasta obtener un polvo fino y separar en un tamiz de 1400 µm donde quedarán las patas y las alas puesto que son las partes que no tienen melanina, asegurándose con una balanza analítica de que se pese 100 g y agregar 1000 ml de HCl al 1 % para luego

dejar la solución a 20°C durante 2h y se filtra de 12-15 µm (cuantitativo) en papel filtro, lavar el residuo sólido con 900 ml de agua destilada y se pone en un horno de mufla durante 1 hora a 30°C.

Seguido de la desproteización, donde se deben añadir 830 ml de KOH al 5% (p/v) a la biomasa y dejar en un baño de agua a 50 °C durante 2 h con agitación ocasional usando un agitador de vidrio y se dejó enfriar la suspensión para luego filtrar y lavar hasta pH neutro, se secó a 50°C en el horno de mufla durante 1 h y finalmente la muestra obtenida se pesó en la balanza analítica, se registró el resultado y se realizan los cálculos de rendimiento en la ecuación [4] de la siguiente forma [12] :

$$\%RENDIMIENTO = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad \text{Ecuación [4]}$$

Donde:

$m_1$ : Masa inicial de la muestra.

$m_2$ : Masa final.

### **2.1.5. Contenido de melanina con etanol**

Se comienza con la desmineralización lavando 120 g imagos de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) a temperatura ambiente con un frasco de lavado para eliminar cualquier residuo o contaminante con 900 ml de agua destilada, para luego secarla en un horno de mufla a 30°C durante 1 hora, seguido de una reducción de tamaño con un mortero de porcelana con exterior esmaltado hasta obtener un polvo fino y separar en un tamiz de 1400 µm donde quedarán las patas y las alas puesto que son las partes que no tienen melanina, asegurándose que la muestra se pesa 100 g con una balanza analítica y agregar 1000 ml de metanol al 70 %, Introducir la solución en el microondas por lapsos de 5 min hasta completar una temperatura cercana a 78,37 °C controlado con un termómetro de vidrio (teniendo en cuenta que es la temperatura de ebullición del etanol, por eso no debe sobrepasarse) y se filtra en papel filtro de 12-15 µm, lavar el residuo sólido con 900 ml de agua destilada y se pone en un horno de mufla durante 1 hora a 30°C. Seguido de la desproteización, donde se deben añadir 750 ml de KOH al 5% (p/v) a la biomasa y dejar en un baño de agua a 50 °C durante 2 h con agitación ocasional usando un agitador de vidrio y se dejó enfriar la suspensión para luego filtrar y lavar hasta pH neutro, se secó a 50°C durante 1 h y

finalmente la muestra se pesó y se registró el resultado y se realizan los cálculos de rendimiento en la ecuación [5] de la siguiente forma [12] :

$$\%RENDIMIENTO = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad \text{Ecuación [5]}$$

Donde:

$m_1$ : Masa inicial de la muestra.

$m_2$ : Masa final.

## 2.2. CONDICIONES DE OPERACIÓN

### 2.2.1. Selección del solvente

Un solvente verde es un tipo de solvente que se utiliza en procesos de extracción y que cumple con ciertos requisitos ambientales, como ser renovable, biodegradable, no tóxico y tener un bajo impacto en el medio ambiente. Estos solventes se han desarrollado en respuesta a la necesidad de reducir el impacto ambiental de los procesos químicos y se han convertido en una alternativa más sostenible a los solventes tradicionales. Algunos ejemplos de solventes verdes incluyen los solventes a base de biomasa, los fluidos supercríticos y los gases licuados. Al seleccionar el solvente más adecuado para la extracción, se estudian diversas opciones, Se eligieron los solventes bio-basados ya que cumplen con los principios de química verde. Estos principios son: Solventes más seguros, reducción de los productos, prevención, diseño de químicos más seguros, uso de materias primas renovables, diseño de productos degradables y análisis en tiempo real para evitar la contaminación.

Se seleccionaron tres composiciones químicas naturales más seguras para prevenir accidentes derivados: glicerina, etanol y etilenglicol. Se realizó una comparación detallada entre estas tres opciones donde se estudió el Rendimiento de extracción, la viabilidad económica, el costo, su disponibilidad en el mercado, la toxicidad del reactivo, su impacto ambiental y sus usos adicionales.[9]

### **2.2.2. Método de extracción**

La extracción es un proceso fundamental que involucra la separación de componentes de una mezcla. La elección del método de extracción adecuado es crucial para obtener resultados precisos y eficientes.

Se realizó un estudio bibliográfico para evaluar y comparar diferentes métodos de extracción para determinar cuál es el más efectivo en la separación de componentes específicos de la muestra. Se analizaron varios métodos de extracción como con agua subcrítica, asistida con microondas, con CO<sub>2</sub> supercrítico y mediante tecnologías ultrasónicas, se realizó una tabla comparativa enfocándose en las ventajas y limitaciones de cada método con el fin de identificar el método óptimo para aplicación.[11]

**Figura 2.**

*Ventajas y desventajas de los métodos de extracción.*

Método de extracción	Ventajas	Limitaciones
Extracción con CO2 supercrítico	Utiliza CO2, un disolvente no tóxico y no inflamable	Requiere equipos especializados y costosos
	Selectividad ajustable	Requiere altas presiones y temperaturas
	No deja residuos de disolventes	Costo inicial elevado
Extracción con agua subcrítica/caliente	Utiliza agua como disolvente, un recurso renovable	Requiere altas temperaturas y presiones
	Menor impacto ambiental	Menor selectividad en algunos casos
	No utiliza disolventes orgánicos	Puede requerir pretratamiento de la muestra
Extracción asistida por microondas (MAE) con disolventes verdes	Alta eficiencia de extracción	Requiere equipos especializados
	Reducción del tiempo de extracción	Puede requerir optimización de condiciones
	Menor consumo de disolvente	Requiere conocimientos técnicos específicos
Extracción con fluidos iónicos	Baja volatilidad y potencial reutilización	Altos costos de producción
	Amplia gama de solubilidad	Posible toxicidad de algunos fluidos iónicos
	Bajo impacto ambiental	Menor experiencia en su aplicación

Extracción mediante tecnologías ultrasónicas	Reducción del tiempo de extracción	Puede requerir optimización de condiciones
	Menor consumo de disolvente	Requiere equipos especializados
	Menor generación de residuos	

**Nota.** tabla comparativa donde se evalúan las ventajas y desventajas de diferentes tipos de extracción, enfocada en facilidad de uso, toxicidad, tiempo, entre otros con el fin de elegir el método mas adecuado. Tomado de. *Liu, N., Ren, G., Faiza, M., Li, D., Cui, J., Zhang, K., Yao, X., & Zhao, M. (2022). Comparison of conventional and green extraction methods on oil yield, physicochemical properties, and lipid compositions of pomegranate seed oil. Journal of Food Composition and Analysis, 114.*

<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104747>

### **2.2.3. Diseño de un proceso de extracción y purificación de melanina obtenida de imagos de la Mosca Soldado Negra (*Hermetia Illucens*), aplicando principios de química verde, dentro de un esquema de biorrefinería.**

La parte experimental de este estudio implica la implementación de métodos estandarizados en el laboratorio para la extracción y purificación de la melanina a partir de los imagos de la mosca soldado negra. Este proceso requerirá la definición de las condiciones de operación óptimas para maximizar la eficiencia y la pureza de la melanina obtenida a partir de un solvente verde ya estudiado y seleccionado por su eficiencia y menor impacto ambiental, reflejando las funciones principales del diseño conceptual.[15]

## **DISEÑO CONCEPTUAL**

Horno: El horno tiene como función principal el secado de las larvas de la mosca soldado negro. En el proceso, las larvas se introducen en el horno y se someten a un calor controlado para eliminar la humedad. La temperatura y el tiempo se ajustan con

precisión para lograr una deshidratación óptima sin afectar la calidad de la melanina. El tamiz :desempeña su función principal en la separación de imagos secos y partículas no deseadas. En el proceso, los imagos deshidratados se pasan a través del tamiz, el cual retiene las impurezas y permite el paso de las larvas secas. La clasificación y separación se logran mediante el ajuste de la malla, asegurando un tamaño de partícula deseado y la eliminación efectiva de impurezas.

El transportador de tornillos: cumple un papel crucial en el proceso al transferir de manera continua y controlada los imagos deshidratados entre procesos. Su función principal se centra en lograr transportar eficiencia y uniformidad del proceso.

El mezclador:desempeña un papel esencial en el proceso, ya que se utiliza para hacer un lavado en el cual se combinan las partículas de imagos de mosca soldado negra (*hermetia illucens*) con agua destilada, incluyendo el control de temperatura. Este componente resulta fundamental para garantizar un proceso de lavado efectivo y uniforme de las partículas.

El mezclador enchaquetado: este proceso se lleva a cabo en dos etapas: la primera con etanol y la segunda con hidróxido de sodio, ambas manteniendo la temperatura requerida para estas operaciones. La función principal del mezclador enchaquetado se centra en el almacenamiento y la facilitación de las condiciones específicas necesarias para la extracción eficiente de melanina de las partículas de imagos. Su diseño enchaquetado permite mantener de manera precisa y controlada las condiciones térmicas esenciales para cada etapa del proceso industrial.

Microondas Asistido: el uso de microondas asistidos en el proceso de extracción de mosca soldado (*hermetia illucens*) negro contribuye a la mejora de la eficiencia, selectividad y calidad de los extractos obtenidos, así como a la reducción del impacto ambiental del proceso de extracción.

Tanque: Almacenar la materia prima, al iniciar y finalizar el proceso.

Mortero:Su función en el proceso es la Trituración y molienda de materia prima como los imagos secos o componentes para facilitar la extracción de melanina.[32]

### **2.3. Selección de operaciones unitarias**

El uso de insectos en biorrefinería ofrece varios beneficios en comparación con los métodos tradicionales, la biorrefinería de insectos es un enfoque ecológico que no requiere reactivos químicos ni tratamientos previos de materiales, lo que la hace

respetuosa con el medio ambiente. Además, la biorrefinería de insectos puede ayudar a reducir el consumo de energía fósil, aliviar el impacto sobre el medio ambiente y reducir el costo del biodiesel. Los insectos también se alimentan vorazmente de desechos orgánicos.[31]

La larva de la (*Hermetia illucens*) es capaz de consumir una gran cantidad de residuos orgánicos más específicamente 2-3 veces su peso, y el peso de las larvas son alrededor de 0,2-0,3 gramos, de acuerdo con lo citado para procesar una tonelada diaria de residuos se requiere 1 600 000 imagos de mosca soldado, esto serían lo que equivale a unas 30 Toneladas de alimento por mes (considerando un ciclo de vida de las larvas de alrededor de 13-18 días).[1]

**Figura 3.**

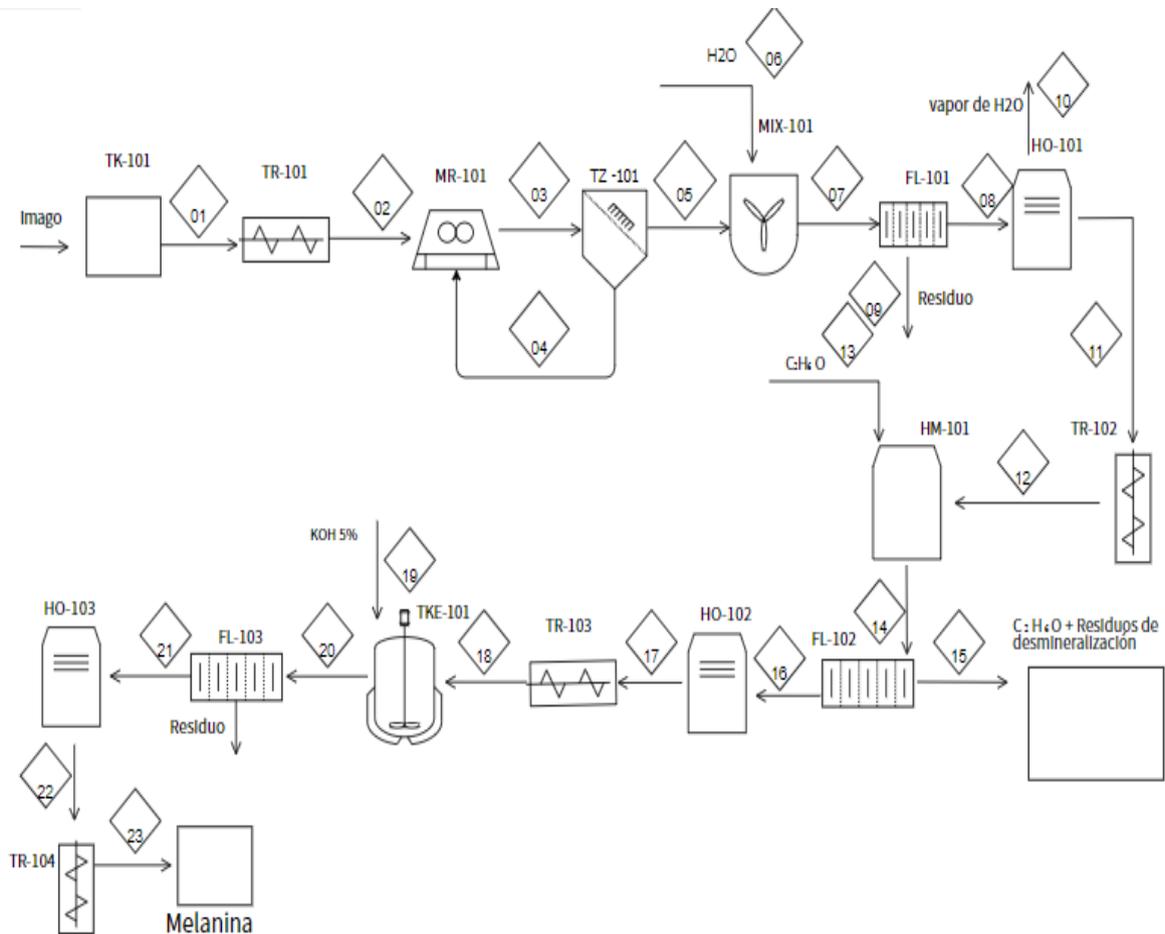
*Operaciones unitarias*



**Nota:** Diagrama donde se establece una secuencia de operaciones unitarias para el procesamiento de la materia prima, con procesos relevantes adicionales

**Figura 4.**

*P&ID del proceso*



**Nota.** Diagrama de flujo de procesos donde se esquematiza el flujo en las tuberías y equipos propuestos para el diseño industrial y conceptual del sistema

### 2.3.1. Descripción del proceso

Para la producción de melanina, ingresan el imago para ser almacenado en T-101, al comenzar el Proceso pasa por el TR-101 un transportador de tornillo que lo llevara directamente a MR-101 un mortero donde los imagos pasaran por una molienda, en el TZ- 101 se tamizan para generar que las partículas más finas puedan seguir con el proceso de extracción, se identificaran las partes que en la molienda no fueron totalmente procesadas y del TZ-101 volverán al MR-101, paran las partículas que han sido aprobadas para continuar con el proceso de extracción por una corriente al MX-

101 un mezclador que hará un lavado inicial con H<sub>2</sub>O, una corriente llevara esta mezcla a FL-101 un filtro donde quedaran las partículas sólidas y el restante liquido sale por una corriente para ser desechado, una vez las partículas quedan separadas y pasan a HO-101 para extraer el exceso de humedad y que la partícula quede un 99% seca, se transporta por TR-102 para llegar a TKE-101 un mezclador enchaquetado, allí ocurre la desproteinización con Etanol (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O) y las partículas de imagos esto ocurre a una temperatura de 75°C hasta llegar al punto de fusión del etanol, FL-102 filtro donde quedaran las partículas sólidas y el restante liquido sale por una corriente para ser desechado, una vez las partículas quedan separadas y pasan a HO-102 para extraer el exceso de humedad y que la partícula quede un 99% sin humedad, se transporta por TR-103 para llegar a TKE-102 un mezclador enchaquetado, allí ocurre la reacción con hidróxido de sodio al 5% y las partículas de imagos, FL-103 filtro donde quedaran las partículas sólidas y el restante liquido sale por una corriente para ser desechado, una vez las partículas quedan separadas y pasan a HO-103 para extraer el exceso de humedad, y finalizando a un T-102 para la recolección del residuo final (melanina).[13]

### BASE DE CÁLCULO

- **Cantidad de Materia Prima:** Imago de Mosca Soldado Negro Disponible: 36 toneladas/año

Rendimiento Estimado de Melanina por Tonelada mensual de Imago: 4 %

- **Cantidad Total de Melanina a Extraer:**  $(97,5) * (4\%) = 3.9$
- **Factores de Eficiencia y Pérdidas:** la pérdida total de imago inicial y final del proceso industrial denota un 95.9%, pérdida de agua en cada etapa había una pérdida 100%

#### **Costos Asociados:**

**Horno:** Entre \$8´400.000 a \$8´700.000 capacidad de 25 kg

**Tamiz vibratorio:** \$1,800.00 a \$1,900.00 espacio de 1328m<sup>2</sup>

**Filtro** (Centrifugadora decantadora): \$15´000.000 capacidad 1-30m<sup>3</sup>/hora

**Tanques:** \$11´500.000 capacidad de 25 kg

**Transportador de Tornillo:** Entre \$3´000.000 Velocidad de rotación 45-70 rpm

Costos Anuales de Mantenimiento: Estimativamente un 5-10% del costo de

adquisición total de los equipos. [14]

**Reemplazo de Piezas:** Estima alrededor de un 2-5% del costo de adquisición anual.  
Consumo de Energía: Alrededor de \$5'000.000 a \$7'000.000 dependiendo de la eficiencia energética de los equipos y las tarifas locales.

**Insumos y Suministros:** Alrededor de \$1'000.000 a \$2'000.000 mensuales para solventes, agua y otros materiales.

**Costos Laborales:** Depende del personal requerido, pero se estima entre \$30'000.000 y \$45'000.000 mensuales.

**Ingresos por Venta de Melanina:** 300 USD /kg[14]

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se identificaron los resultados para los diferentes análisis siguiendo la misma estructura metodológica, donde se realizaron los cálculos respectivos identificando las ecuaciones y sus componentes, concluyendo las etapas:

#### 3.1. Contenido de humedad

Se identificó que para una muestra en base húmeda de 5,0004 g de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), el peso promedio correspondiente luego del proceso de secado fue de 3,9212 g  $\pm$  0,0074.

Por lo cual la cuantificación de humedad mostró que el porcentaje de humedad promedio fue de 21, 6% en base húmeda, lo cual es un valor satisfactoriamente comparable con el 30,03% que registró Castañeda Barrera, obteniendo un porcentaje de diferencia de un 8,4%. [16]

#### 3.2. Contenido de cenizas

El análisis para una muestra de 5,0006 g de mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*), el peso promedio correspondiente luego del proceso de calcificación fue de 3,5928 g  $\pm$  0,0095.

Con los resultados obtenidos en la ecuación 2 se demostró que la cantidad de cenizas en porcentaje de humedad promedio fue de 71,8%, resultados muy similares al 74% obtenidos por Gutiérrez, A., Patricia, G. obteniendo una diferencia del 2,2% siendo un porcentaje de diferencia bajo. [20]

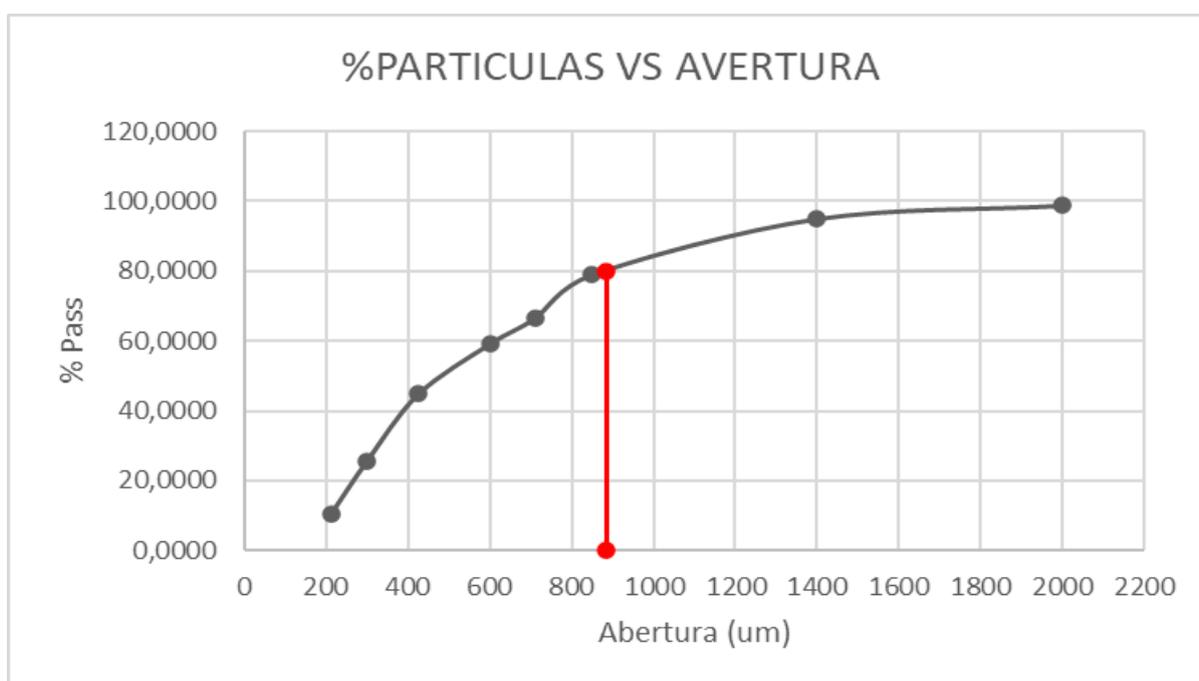
### 3.3. Tamaño de partícula

Se logró identificar el tamaño promedio de las partículas de las muestras utilizadas para el tratamiento de extracción de melanina donde en la gráfica 1 se puede observar el comportamiento del tamaño de la muestra frente a el porcentaje retenido, se observa una tendencia logarítmica, donde aumenta lentamente con relación a la abertura y se acerca infinitamente al eje del porcentaje de partícula sin llegar a un 0, siendo así proporcional.

Con un un D80 calculado de 884  $\mu\text{m}$ . [21]

#### Figura 5.

*Resultados de porcentaje partícula retenido vs abertura*



**Nota.** Grafica del estudio de retención de partículas en los diferentes tamices, con tendencia a una curva exponencial que representa la distribución continua con una tendencia acumulativa. Tomado de: Santillán Piña, n. (2020). *manual de prácticas del laboratorio de sedimentología [manual]. laboratorio de paleontología y sedimentología*. [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14547/Manual%20de%20laboratorio%20de%20Paleontología%20Sedimentaria\\_HTUZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14547/Manual%20de%20laboratorio%20de%20Paleontología%20Sedimentaria_HTUZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

### **3.4. Contenido de melanina método convencional**

En los resultados presentados, se observa que por la técnica de extracción tradicional con ácido clorhídrico al 1% en condiciones (1-10 con la muestra) y posteriormente que las condiciones (1-10 KOH) con los imagos muertas de (*Hermetia illucens*) fueron calculados siguiendo técnicas de autores que siguieron las condiciones utilizadas anteriormente para crustáceos y abejas, dando por indicado que son adecuados para la eliminación de proteínas y grasas de imagos muertos [14] y el contenido de melanina se determinó mediante rendimientos porcentuales, partiendo del peso de la muestra 100,0006 g, para dar lugar al peso luego de la desproteínización 83,0014 g  $\pm$  0,3318 y finalmente relacionarlo con el peso de la desmineralización 14,4423 g  $\pm$  0,0362 con la ecuación [4] de rendimiento.

Con los cálculos previos se obtuvo un valor de 14% el cual fue comparado con los resultados de Khayrova, a, lopatin, s. de un 15% tiene una diferencia de un 1% lo cual no es un resultado muy cercano y gratificante para la investigación. [12]

### **3.5. Contenido de melanina con etanol**

Con la investigación previa realizamos un cálculo de resultados basándonos en el método tradicional, pero realizando el cambio del ácido clorhídrico por el etanol, donde se relacionaron los rendimientos partiendo del peso de la muestra 100,0002 g, para dar lugar al peso luego de la desproteínización 75,0432 g  $\pm$  0,0238 usando la ecuación 5 y finalmente se relaciona con el peso de la desmineralización 12,0749 g  $\pm$  0,0488 con la ecuación [5] de rendimiento.

Con los cálculos previos se obtuvo un valor de 12% comparado con los resultados del método convencional vemos que los valores en cuanto a rendimiento disminuyen en un 2% lo cual proporciona un resultado acertado al cambio de solvente [12].

### **3.6. Selección del solvente**

Se obtuvieron los siguientes resultados donde el etilenglicol destaca por su alto rendimiento en la extracción, pero su viabilidad económica se ve comprometida por su elevado costo y disponibilidad limitada.[6] Por otro lado, tanto el etanol como la glicerina muestran rendimientos de extracción moderados, pero su viabilidad

económica es más favorable, principalmente debido a su menor costo y mayor disponibilidad en el mercado. [7][8] Además, en términos de toxicidad y su impacto en el medio ambiente, tanto el etanol como la glicerina presentan ventajas sobre el etilenglicol. Ambos solventes se destacan por ser más benignos lo que los convierte en opciones más amigables con el entorno. Además, el etanol y la glicerina tienen una variedad más amplia de usos en comparación con el etilenglicol, lo que hace solventes más versátiles para aplicaciones más allá de la extracción de melanina esto se reflejó en la siguiente tabla.

**Figura 6.**

*Comparación de los diferentes solventes, con el fin de verificar la mayor viabilidad.*

PARÁMETRO	ETILENGLICOL	ETANOL	GLICERINA
Rendimiento de extracción	Alto	Moderado	Moderado
Viabilidad económica	Moderado	Alta	Alta
Costo	Moderado	Bajo	Bajo
Disponibilidad	Bajo	Alta	Alta
Toxicidad	Alta	Bajo	Bajo
Impacto Ambiental	Alta	Moderado	Moderado
Usos Adicionales	Limitado	Amplios	Amplios

Nota. tabla comparativa donde se evalúan bibliográficamente factores relevantes para tres solventes orgánicos, con el fin de elegir el más adecuado para la extracción de melanina. Tomado de: Instrumentalia. (2024). Alcohol etílico absoluto (etanol) 99,5%. <https://instrumentalia.com.co/reactivos/38470-alcohol-etilico-absoluto-etanol-995.html>

Farmalisto Colombia. (2024). Comprar glicerina pura Disanfer frasco 250 ml. [://www.farmalisto.com.co/droga-blanca/9713-comprar-glicerina-pura-disanfer-frasco-con-250-ml-precio-7707145301292.htm](http://www.farmalisto.com.co/droga-blanca/9713-comprar-glicerina-pura-disanfer-frasco-con-250-ml-precio-7707145301292.htm)

### **3.7. Selección método de extracción**

Al realizar la respectiva comparación de los diferentes métodos de extracción verde nombrados en la (tabla 3) se escoge por los siguientes motivos principales:

- Acceso al método
- Beneficios y eficiencias

Así que el MAE (extracción asistida por microondas) es uno de los más eficientes por los siguientes motivos:[10]

**Velocidad y Tiempo:** El uso de microondas puede acelerar significativamente el proceso de extracción. La energía de microondas genera calor de manera más rápida y uniforme en comparación con los métodos convencionales, lo que reduce el tiempo necesario para la extracción de melanina.[10]

**Mayor rendimiento:** La aplicación de microondas puede aumentar el rendimiento de la extracción, permitiendo obtener una mayor cantidad de melanina de la muestra en comparación con los métodos convencionales, posiblemente debido a una extracción más eficiente de los compuestos de interés.[10]

**Menor Consumo de Disolventes:** Los métodos asistidos por microondas a menudo requieren menos cantidad de disolventes en comparación con los métodos convencionales para obtener el mismo rendimiento, lo que los hace más eficientes desde el punto de vista del consumo de reactivos.[10]

**Mejora en la Selectividad y Pureza:** Los métodos de extracción asistidos por microondas pueden ofrecer una mayor selectividad en la extracción de melanina, minimizando la contaminación de compuestos no deseados y aumentando la pureza del producto final.[9]

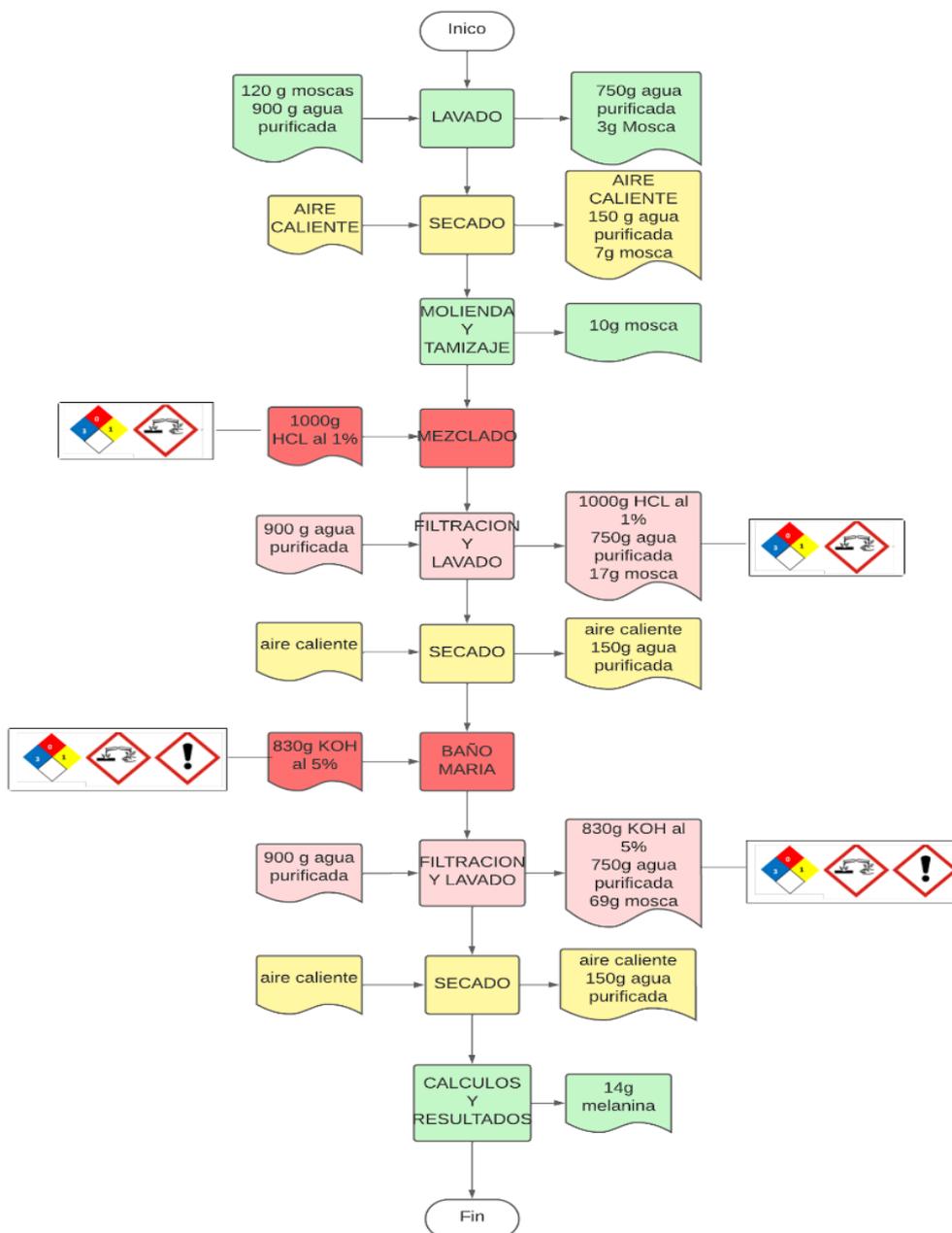
**Optimización de Condiciones:** La aplicación de microondas permite un control más preciso de las condiciones de extracción (tiempo, temperatura, presión, etc.), lo que puede optimizar el proceso y mejorar la eficiencia general.[10]

### **3.8. Comparación de Diagrama de procesos.**

En esta sección se comparan los diagramas de procesos identificando sus partes y haciendo los cambios respectivos para pasar del modelo del método tradicional (Figura 4) al modelo basado en principios de química verde (Figura 5).

**Figura 7.**

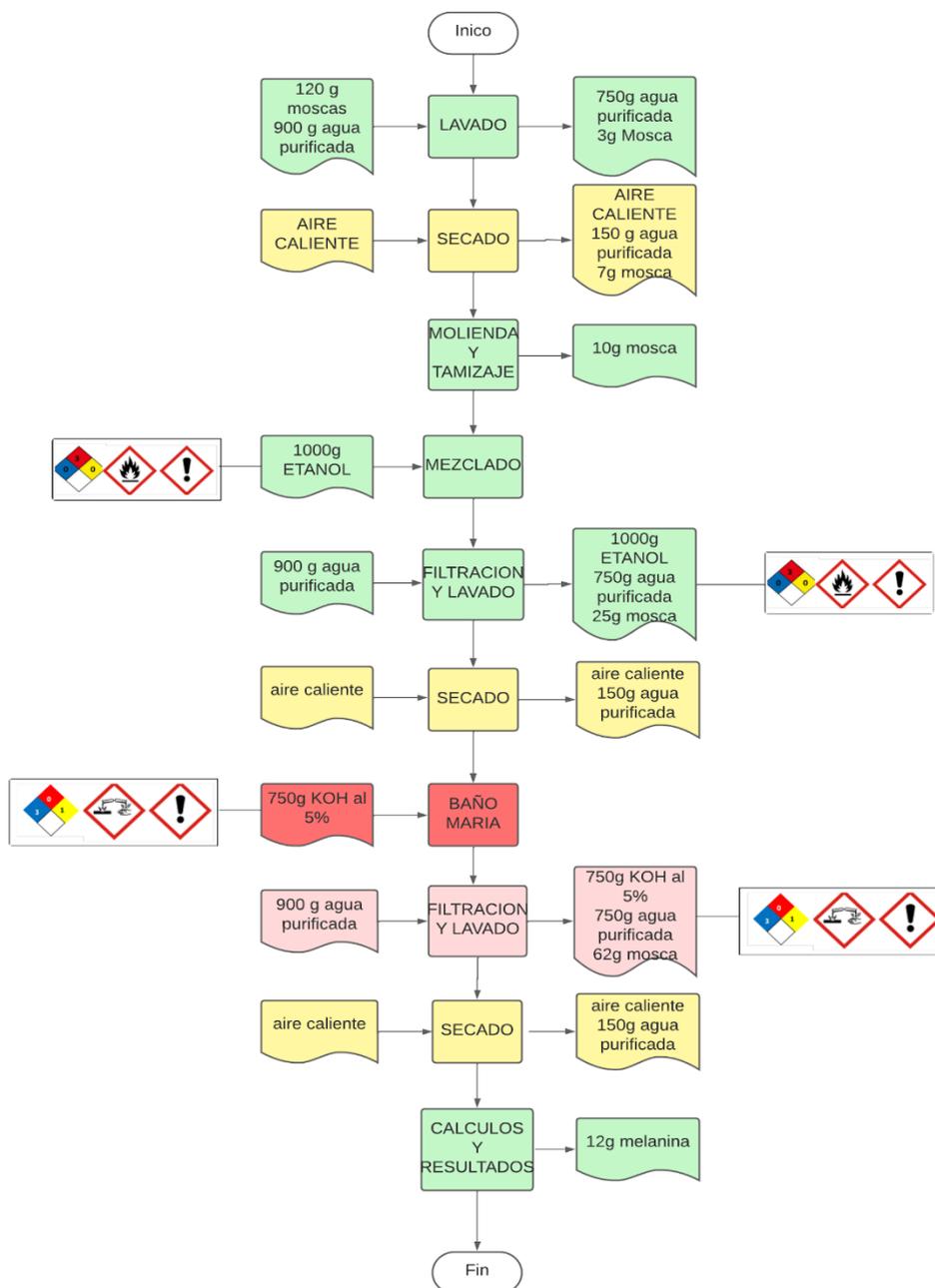
*Diagrama del proceso convencional.*



**Nota.** Diagrama de flujo del proceso convencional con el cual se identifica el esquema del proceso, las cantidades a usar y su peligrosidad usando el semáforo de colores y los pictogramas relacionados con cada reactivo

**Figura 8.**

*Diagrama del proceso con etanol.*



**Nota.** Diagrama de flujo con el cual se identifica el esquema del proceso propuesto usando etanol, las cantidades a usar y su peligrosidad usando el semáforo de colores y los pictogramas relacionados con cada reactivo

En el diagrama se integran el tratamiento y la disposición de los residuos, y se consideran los riesgos a la salud, al ambiente y a la seguridad utilizando los pictogramas y rombos de seguridad de reactivos. [28]

Donde se evidencia el cambio del solvente, y un cambio significativo en lo amigable del proceso, reflejado en la gama de colores, esto basado en los códigos de color de los principios de química verde en el artículo de Yolanda Vargas y Adolfo Valdivia de “El diagrama de flujo como semáforo de seguridad ecológica de los experimentos de laboratorio” y considerando los puntos clave de:

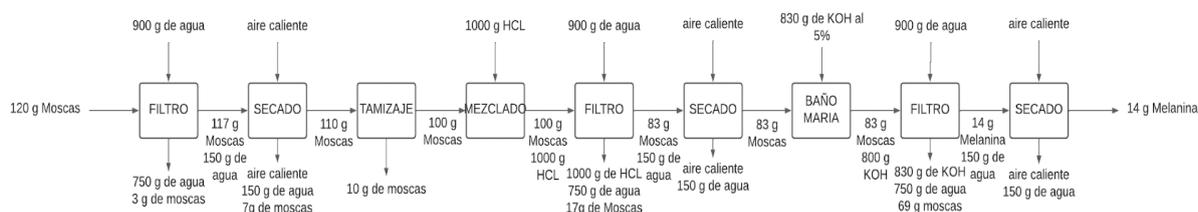
1. **Materiales y reactivos más seguros:** Escoge materias primas y reactivos menos tóxicos y peligrosos donde la toxicidad del ácido clorhídrico [23] es menor que la del etanol [24]
2. **Minimización de residuos:** Busca procesos que generen la menor cantidad de residuos posible. Esto enfocado en que el etanol es subproducto de varios procesos de producción por lo cual aporta al aprovechamiento de productos no deseados o la implementación de métodos de reciclaje.
3. **Diseño de productos más seguros:** Intenta desarrollar productos que sean menos tóxicos, biodegradables o que presenten menos impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida. [28]

### **3.9. Comparación de balance de materia de los procesos**

Siguiendo los parámetros establecidos se comparan los diagramas de balance de materia de los diferentes procesos identificando sus partes y pudiendo comparar los flujos del modelo del método tradicional al nuestro teniendo principios de química verde.

**Figura 9**

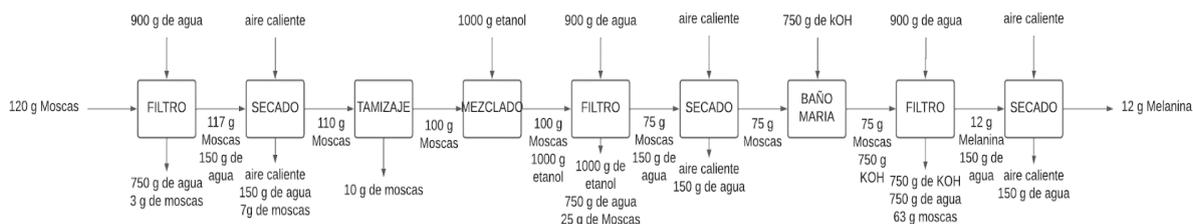
*Balance de materia del proceso convencional*



**Nota.** Balance de materia del proceso convencional considerando cada etapa y el flujo de entrada y salida en cada una, con los cálculos respectivos en gramos(g)

**Figura 10.**

*Balance de materia del proceso con etanol*

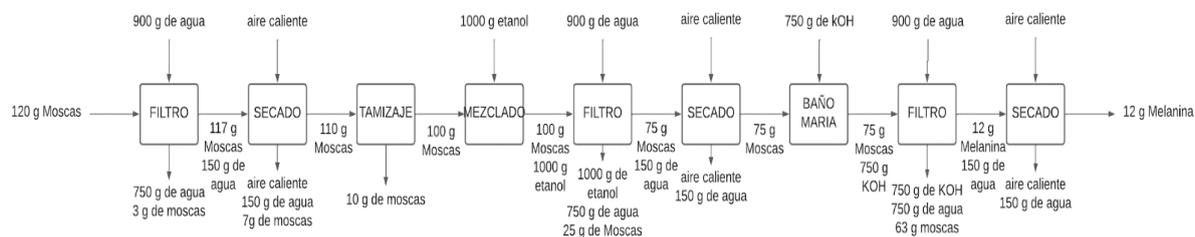


**Nota.** Balance de materia del proceso propuesto usando etanol considerando cada etapa y el flujo de entrada y salida en cada una, con los cálculos respectivos en gramos(g)

Donde se evidencia el cambio del solvente, pero en gran medida un proceso similar, en el proceso con ácido clorhídrico (Figura 6), se obtienen 14 g del compuesto deseado, mientras que con etanol (figura 7), se obtienen 12 g, por lo cual se define que el proceso con ácido clorhídrico parece tener un rendimiento un 2% mayor en la producción del compuesto de interés. Ambos procesos utilizan la misma cantidad de ácido clorhídrico y etanol, lo que sugiere una equivalencia en la cantidad de estos reactivos en ambos procesos. Pero la cantidad de hidróxido de potasio en el proceso que involucra etanol utiliza un 9,6% menos en comparación con el proceso de ácido clorhídrico además del impacto al medio ambiente del ácido clorhídrico, por lo que la inclinación hacia el proceso de etanol es mucho mayor.

**Figura 11**

*Balance de materia del proceso con etanol de forma industrial.*



**Nota.** Balance de materia del proceso propuesto usando etanol a escala industrial, partiendo de una base de cálculo de 100 toneladas(t) de desechos orgánicos, considerando cada etapa y el flujo de entrada y salida en cada una, con los cálculos respectivos en gramos(g)

Donde se propone según la información previa un balance de manera industrial partiendo de las moscas necesarias para la degradación de 100 toneladas de residuos orgánicos por día con un rendimiento teórico de un 12%.

#### 4. DISCUSIONES DE RESULTADOS

El estudio llevado a cabo para evaluar la extracción de melanina en mosca soldado negro y la viabilidad de reemplazar el ácido clorhídrico por un solvente más amigable con el medio ambiente (solvente verde), como la glicerina, etano, etilenglicol, revela aspectos interesantes que influyen en la implementación de un proceso industrial más sostenible.

El investigador señala que, al realizar el cambio del ácido clorhídrico por glicerina, se enfrentaron a desafíos asociados con la viscosidad de este solvente. Esta observación condujo a la consideración de añadir un proceso adicional, lo cual finalmente fue descartado del diseño. Este hallazgo destaca la importancia de evaluar cuidadosamente las propiedades físicas de los solventes alternativos, ya que la viscosidad puede impactar significativamente en la separación de este, afectando la eficiencia del proceso el cual al final

A pesar de este desafío, la comparación con el proceso convencional muestra que el rendimiento es factible incluso después de cambiar a otro solvente como el etanol.

Este resultado es alentador, ya que sugiere que la sustitución del ácido clorhídrico por el etanol otro solvente más amigable con un resultado de un rendimiento de 13% a nivel laboratorio teniendo en cuenta que con el solvente tradicional Ácido clorhídrico se tenía una eficiencia del 14%. La observación de que el diseño industrial es un ciclo repetitivo y que los controles no requieren un nivel extremadamente riguroso es una perspectiva valiosa. Esto implica que la adaptación a nuevos métodos y la implementación de soluciones más sostenibles pueden integrarse en el flujo de trabajo sin imponer restricciones operativas significativas.

## **5. CONCLUSIONES**

Para la obtención de resultados se utilizó la técnica de extracción tradicional con ácido clorhídrico al 1%. Esta técnica, junto con las condiciones (1-10 KOH), siguió técnicas establecidas para crustáceos y abejas. Indicó su idoneidad para eliminar proteínas y grasas en los imagos de la mosca soldado negra (*Hermetia ilusens*). Al comparar los resultados, se obtuvo un valor del 14%, que difiere ligeramente del valor informado por Khayrova del 15%. Esto sugiere que puede haber discrepancias en la eficacia del método convencional. Además, al cambiar el solvente de ácido clorhídrico a etanol, los resultados arrojaron un rendimiento del 12%, resultando en una disminución del 2% en comparación con el método convencional. En la extracción de melanina, se ha concluido que la investigación apoya la adopción de prácticas más sostenibles al resaltar la viabilidad de sustituir el ácido clorhídrico por etanol.. A pesar de una leve ventaja en el rendimiento con ácido clorhídrico, el menor impacto ambiental asociado con el etanol sugiere su preferencia. Estos hallazgos indican un potencial significativo para la innovación en la selección de métodos y materiales en la extracción de melanina, alineando la eficiencia industrial con prácticas ecológicas.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Responsible Seafood Advocate. (2023). Bioactividad de la harina de larvas de mosca soldado negra. <https://www.globalseafood.org/advocate/bioactividad-de-la-harina-de-larvas-de-mosca-soldado-negra/>
- [2] Residuos, D. E. (2010). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Biología. Informe de trabajo final de graduación: Uso de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) para el manejo de residuos municipales organicos en el campus de la universidad earth, costa rica  
[RICAhttps://core.ac.uk/download/pdf/60987358.pdf](https://core.ac.uk/download/pdf/60987358.pdf)
- [3] Khayrova, A., Lopatin, S., Varlamov, V. (2021). Obtaining chitin, chitosan, and their melanin complexes from insects. *International Journal of Biological Macromolecules*, 167, 1319-1328. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.086>
- [4] Cao, W., Zhou, X., McCallum, N. C., Hu, Z., Ni, Q. Z., Kapoor, U., ... Gianneschi, N. C. (2021). Unraveling the structure and function of melanin through synthesis. *Journal of the American Chemical Society*, 143(7), 2622–2637. <https://doi.org/10.1021/jacs.0c12322>
- [5] Lubrizol. (2024). 12 principios de química verde. [lubrizol.com https://espanol.lubrizol.com/personal-and-home-care/sustainability/12-principles-of-green-chemistry](https://espanol.lubrizol.com/personal-and-home-care/sustainability/12-principles-of-green-chemistry)
- [6] Instrumentalia. (2024). Etilenglicol Panreac. <https://instrumentalia.com.co/reactivos/49064-etilenglicol-panreac.html>
- [7] Instrumentalia. (2024). Alcohol etílico absoluto (etanol) 99,5%. <https://instrumentalia.com.co/reactivos/38470-alcohol-etilico-absoluto-etanol-995.html>
- [8] Farmalisto Colombia. (2024). Comprar glicerina pura Disanfer frasco 250 ml. [://www.farmalisto.com.co/droga-blanca/9713-comprar-glicerina-pura-disanfer-frasco-con-250-ml-precio-7707145301292.html](https://www.farmalisto.com.co/droga-blanca/9713-comprar-glicerina-pura-disanfer-frasco-con-250-ml-precio-7707145301292.html)
- [9] Janicka, P., Płotka-Wasyłka, J., Jatkowska, N., Chabowska, A., Fares, M. Y., Andruch, V., ... Gębicki, J. (2022). Trends in the new generation of green solvents in extraction processes. In *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* (Vol. 37). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100670>

- [10] Saliremos. (2024). *Extracción de compuestos asistidos por microondas*. <https://www.sairem.com/es/solutions-for-food-and-industry/microwave-assisted-compound-extraction/>
- [11] Liu, N., Ren, G., Faiza, M., Li, D., Cui, J., Zhang, K., Yao, X., & Zhao, M. (2022). *Comparison of conventional and green extraction methods on oil yield, physicochemical properties, and lipid compositions of pomegranate seed oil*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104747>
- [12] Khayrova, A., Lopatin, S. A., & Варламов, В. П. (2020). *Obtaining chitin/chitosan-melanin complexes from black soldier fly *Hermetia illucens**. *IOP Conference Series*, 809(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/809/1/012020>
- [13] gmdix Equipos de proceso industrial | GMdix Ingeniería de Procesos. (2024). <https://gmdix.com/equipos/procesado/>
- [14] Alibaba.com. (2024), <https://goo.su/TNw3tox>
- [15] Zou, Y., Xie, C., Fan, G., Gu, Z., & Han, Y. (2010). *Optimization of ultrasound-assisted extraction of melanin from *Auricularia auricula* fruit bodies*. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(4), 611–615. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.07.002>
- [16] Castañeda Barrera, M. (2016). *Caracterización de quitosano obtenido a partir de quitina de cuatro especies de insectos para su uso en remoción de cromo en agua* [Tesis]. Universidad de Pamplona. [http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/2271/1/Castañeda\\_2016\\_TG.pdf](http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/2271/1/Castañeda_2016_TG.pdf)
- [17] Del Carmen, D. S. M. (2009). *Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente*. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s0187-893x2009000400004](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0187-893x2009000400004)
- [18] *Estructura de eumelanina y feomelanina. Las posiciones con (-COOH)...* | Descargar Diagrama Científico. (2008). [https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-eumelanin-and-pheomelanin-The-positions-with-COOH-in-eumelanin\\_fig2\\_331903150](https://www.researchgate.net/figure/Structure-of-eumelanin-and-pheomelanin-The-positions-with-COOH-in-eumelanin_fig2_331903150)

- [19] Guía para la determinación de contenido de humedad en granos y cereales. (2021). en red colombiana de metrología. <https://inm.gov.co/web/wp-content/uploads/2021/12/guia-determinacio%cc%81n-contenido-de-humedad.pdf>
- [20] Gutiérrez, A., Patricia, G., Ruiz, v., Antonio, R., Vélez, M., completo, N. (2004). análisis composicional, microbiológico y digestibilidad de la proteína de la harina de larvas de *hermetia illuscens* l (diptera:stratiomyiidae) en angelópolis-antioquia, colombia revista facultad nacional de agronomía.<https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914073009.pdf>
- [21] Santillán Piña, n. (2020). manual de prácticas del laboratorio de sedimentología [manual]. laboratorio de paleontología y sedimentología.[http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14547/Manual%20de%20laboratorio%20de%20Petrología%20Sedimentaria\\_HTUZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/14547/Manual%20de%20laboratorio%20de%20Petrología%20Sedimentaria_HTUZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [22] Red Colombiana de Metrología. (2021). Guía para la determinación de contenido de humedad en granos y cereales. <https://inm.gov.co/web/wp-content/uploads/2021/12/guia-determinacio%cc%81n-contenido-de-humedad.pdf>
- [23] Sustancia, D. la, & de La Sociedad O La Empresa, M. Y. ficha de datos de seguridad (2024).<https://apliclor.com/wp-content/uploads/2022/05/FS-ACIDO-CLORHIDRICO-35-36-EN-939-AQ4236-ES.pdf>
- [24] Corponor. (2015). Hoja de seguridad-etanol. <https://corponor.gov.co/corponor/sigescor2010/Hojas%20de%20Seguridad/HS%20Alcohol%20al%2070%202015.pdf>
- [25] Marín, D. (2005). Pigmentación de la piel (I). Melaninas: conceptos generales e implicaciones cosméticas. Offarm. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-pigmentacion-piel-i-melaninas-conceptos-13070745>
- [26] Surendra, K. C., Tomberlin, J. K., van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L. H. L., & Khanal, S. K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). In *Waste Management* (Vol. 117, pp. 58–80). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.050>
- [27] JPrósper Ortega, L. (2020). Seguridad alimentaria y calidad nutricional del

uso de insectos en la dieta [Trabajo final]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica del Medio Natural. <https://riunet.upv.es/handle/10251/147898>

- [28] Vargas-Rodríguez, Yolanda Marina, Obaya Valdivia, Adolfo, Lima Vargas, Suemi, Hernández Escamilla, Anabel, Miranda Ruvalcaba, René, & Vargas Rodríguez, Guadalupe Iveth. (2016). El diagrama de flujo como semáforo de seguridad ecológica de los experimentos de laboratorio. *Educación química*, 27(1), 30-36. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.04.013>
- [29] Tapia, A. (2014). Melanina, fuente infinita de energía. *Energy Management*. <https://e-management.mx/2014/07/16/melanina-fuente-infinita-de-energia/>
- [30] Masterbootstrap. (2022). Melaninas fúngicas: aplicaciones en salud, industria y bioremediación. <https://www.ugto.mx/investigacionyposgrado/eugreka//contribuciones/413-melaninas-fungicas-aplicaciones-en-salud-industria-y-bioremediacion>
- [31] Wang, H., Rehman, K. U., Liu, X., Yang, Q., Zheng, L., Li, W., Cai, M., Li, Q., Zhang, J., & Yu, Z. (2017). Insect biorefinery: A green approach for conversion of crop residues into biodiesel and protein. *Biotechnology for Biofuels*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0986-7>