

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

Propuesta para la valorización de AVU's (aceites vegetales usados), a través de la obtención de velas artesanales usando diseño de mezclas con vértices extremos.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico.

Autor:

Verónica Tatiana Bravo Bonete

Director:

Verónica Patricia Pinos Vélez

ORCID:  0000-0001-8278-5873

Cuenca, Ecuador

2023-07-31

Resumen

La problemática ambiental ocasionada por la mala gestión de residuos de aceites vegetales usados (AVU) es una preocupación actual, ya que afecta directamente al suelo y al agua. La contaminación de agua por AVU tiene impacto en las infraestructuras públicas y en el ambiente. Por estas razones, en este proyecto de titulación se planteó el estudio de los AVU's como materia prima para la obtención de velas artesanales. Para llevar esto a cabo se usó aceite vegetal usado colectado por la empresa ETAPA. Este fue desodorizado a través de maceración en granos de café. El AVU desodorizado fue empleado en diferentes ensayos para obtener velas. Los porcentajes de AVU, ácido esteárico, fijador de perfume, esencia aromática variaron en cada formulación de acuerdo a un diseño de mezclas de vértices extremos. Para la elaboración y evaluación de las velas obtenidas, se siguieron las normas ASTM correspondientes. Además, se evaluaron las características organolépticas de las velas. La formulación con la mejor puntuación correspondió a: 2% de Fijador de Perfume, 10% de Esencia Aromática, 68% de AVU y 20% Ácido Esteárico. Las velas obtenidas con esta formulación cumplieron las normas de calidad establecidas según las normas ASTM, obteniendo un producto eco amigable a partir de estos aceites residuales.

Palabras clave: aceite, AVU, calidad, contaminación, formulación, residuo.



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The environmental problems caused by the mismanagement of waste from used vegetable oils (AVU) is a current concern, since it directly affects the soil and water. Water pollution by AVU has an impact on public infrastructures and the environment. For these reasons, in this titling project the study of AVU's was proposed as raw material for obtaining artisan candles. To carry this out, used vegetable oil collected by the ETAPA company was used. This was deodorized through maceration in coffee beans. The deodorized AVU was used in different tests to obtain candles. The percentages of AVU, stearic acid, perfume fixative, aromatic essence varied in each formulation according to a design of mixtures of extreme vertices. For the preparation and evaluation of the candles obtained, the corresponding ASTM standards were followed. In addition, the organoleptic characteristics of the candles were evaluated. The formulation with the best score corresponded to: 2% Perfume Fixer, 10% Aromatic Essence, 68% AVU and 20% Stearic Acid. The candles obtained with this formulation met the quality standards established by ASTM standards, obtaining an eco-friendly product from these residual oils.

Keywords: AVU, contamination, formulation, oil, quality, residue.



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de Contenidos

INTRODUCCIÓN	10
1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	11
1.1. Aceite Vegetal	11
1.2. Aceites vegetales comercializados en el Ecuador.	11
1.3. Preparación de Velas con AVUs	14
1.3.1 Tratamiento de los AVUs	15
1.3.2 Preparación de velas artesanales tipo llenas.	15
1.3.3 Normativas para las Velas	17
1.4. Diseño de mezclas Vértices extremos	21
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	22
2.1 Caracterización del AVU	22
2.2 Preparación de las velas artesanales con el AVUs	23
2.2.1 Tratamiento de desodorización de los AVUs	23
2.2.2 Preparación de las velas.....	27
2.3. Diseño experimental	27
2.3 Cálculo de Costos.....	31
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1 Resultado de la caracterización del AVU.....	32
3.2 Resultados de la desodorización del AVU.....	32
3.3 Resultados de la evaluación de características de las velas obtenidas por ensayo	35
3.4 Resultados del Análisis del Diseño Experimental	37
3.5 Resultados de Costo de elaboración.	40
3.6 Diseño de Logo y Etiqueta de velas de acuerdo a la normativa	41
3.7 Proceso Optimizado.....	43
CONCLUSIONES	46
Referencias	48
Anexo A	53
Anexo B	55

Anexo C	58
Anexo D	60

Índice de Figuras

Figura 1. Aceites principales.....	12
Figura 2 Proceso de elaboración de velas.....	17
Figura 3 a) Encendido secundario. b) Falla contenedores	19
Figura 4 Filtrado con carbón activado.....	25
Figura 5 Gama de colores.	26
Figura 6 Procedimiento para la elaboración de las velas llenas con AVU.....	27
Figura 7 Resultados del AVU tratado.	35
Figura 8 Grafica de puntos de diseño.....	37
Figura 9 Grafica de Traza.....	39
Figura 10 Superficie de Respuesta.....	39
Figura 11 Logo.....	41
Figura 12 Etiqueta.....	42
Figura 13 Etiqueta.....	42
Figura 14 Diagrama de flujo de proceso de producción	44
Figura 15 Proceso de maceración.	60
Figura 16 Filtración de AVU con carbón activado.....	61
Figura 17 Determinación de la densidad.	62
Figura 18 Determinación de la perdida por calentamiento.	63
Figura 19 Ejecuciones Experimentales.....	64
Figura 20 Ejecuciones terminadas.....	65
Figura 21 Pruebas de quemado. A) Altura de la llama. B) Tiempo de consumo.....	66
Figura 22 Pruebas de quemado. Vela Comercial.	67
Figura 23 Velas elaboradas.....	68

Índice de tablas

Tabla I Caracterización del aceite vegetal usado.	13
Tabla II Porcentaje de componentes.	16
Tabla III Requisitos.	20
Tabla IV Escala de Likert para evaluación de olor.....	26
Tabla V Ejecuciones.	28
Tabla VI Ponderación.	29
Tabla VII Evaluación de tiempos de consumo.....	30
Tabla VIII Escala Likert, evaluación sensorial.	31
Tabla IX Resultado de la Determinación de la densidad del AVU.	32
Tabla X Resultado de la determinación por pérdida de calentamiento	32
Tabla XI Resultados de Olor.....	33
Tabla XII Resultados del atributo color	33
Tabla XIII Ponderación de Características de las Ejecuciones Experimentales.....	36
Tabla XIV Efectos Estimados del Modelo Completo	38
Tabla XV Resultados del Modelo Completo	38
Tabla XVI Combinación de los niveles de los factores para maximizar la Respuesta.....	40
Tabla XVII Costo de Elaboración.....	40
Tabla XVIII Proceso Optimizado	45
Tabla XIX Resultados medio de los atributos Color, Olor y Apariencia.....	55
Tabla XX Resultado de Atributo tiempo de consumo	56
Tabla XXI Resultado del atributo Altura de la Llama	57
Tabla XXII Control de requisitos norma ASTM F 2417.....	57
Tabla XXIII Lineal Resultados de Ajuste de Modelo.....	58

AGRADECIMIENTO

La realización de esta tesis hubiera sido difícil sin la participación de personas que han hecho posible que este proyecto culmine, por esto de manera especial quiero agradecer a mi tutora de tesis Dra. Verónica Pinos por su apoyo durante este tiempo, también quiero agradecer a mi familia que me brindaron su ayuda para que esta etapa concluya, a mis padres que creyeron en mí y a Dios por darme la dicha de poder celebrar este logro con las personas que más amo y a las que les debo todo esto.

DEDICATORIA

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mis amados padres Claudio e Hilda a mis hermanos Gaby y Santi, ya que sin ellos no lo hubiera logrado, por guiarme, protegerme y sobre todo por el apoyo y consejos brindados, porque cuando quise decaer estuvieron allí para levantarme y que siguiera adelante.

A mis hermanos Meli y Chris que, aunque pequeños fueron los que me daban fuerzas para continuar ya que ellos eran quienes seguían mis pasos.

A mi esposo Juan Pablo Jara por su sacrificio y esfuerzo que me ha brindado en estos últimos años, por creer en mi capacidad y por estar siempre presente.

Al motor de mi vida, mi hija Valentina por ser mi inspiración para superarme día a día, porque fuiste tú la que más tuvo que sacrificar para lograr mi sueño. Esta tesis te la dedico a ti hija mía.

Verónica

INTRODUCCIÓN

El aceite vegetal usado (AVU) generalmente proviene del proceso de la fritura de alimentos a nivel doméstico, de servicios de restauración y de la industria. Lamentablemente es muy usual que la disposición final no sea la adecuada, y sea desechado directamente en la basura o en los desagües (Ramírez et al., 2023). Esta mala gestión de los AVU es causante del taponamiento en las tuberías y de la contaminación del agua (*ETAPA EP - Gestión ambiental, 2018*). Un litro de aceite puede contaminar 40.000 litros de agua, que es igual al consumo anual de una persona en su domicilio (Sanchez & Dumet, 2021). Esta contaminación causa una disminución del oxígeno disuelto en el agua lo que provoca la muerte de especies marinas y plantas (Ramírez et al., 2023). Reciclar estos aceites usados es de gran ayuda pues de esta manera se logra mitigar el impacto negativo generado por una gestión final inapropiada (Sanchez & Dumet, 2021). Por esto, generar en la ciudadanía una conciencia ambiental es de muchísima importancia para cuidar nuestro planeta.

En la ciudad de Cuenca existe un programa para la recolección de aceites cuya finalidad es disminuir su impacto ambiental. La empresa ETAPA EP (Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento de Cuenca) es la encargada de la recolección de estos desechos. El aceite vegetal colectado, en la mayoría de los casos únicamente es almacenado y en el mejor de los casos es entregado bajo solicitud a particulares (*ETAPA EP - Gestión ambiental, 2018*)

Por lo antes mencionado es necesario proponer opciones para la transformación de este residuo en productos de valor agregado priorizando que su empleo sea a nivel local para que el producto no tenga una huella de carbono alta. En este trabajo se propone la elaboración de velas artesanales a partir de este aceite vegetal usado (AVU) y colectado por ETAPA EP. El AVU obtenido fue filtrado y desodorizado previo uso en la preparación de velas. La optimización de la formulación se realizó mediante un diseño experimental de mezclas de vértices extremos, donde se buscó la proporción óptima entre AVU, esencia aromática, fijador de perfume y ácido esteárico para obtener velas mejor valoradas de acuerdo a parámetros técnicos y organolépticos. Las velas obtenidas fueron analizadas para comprobar el cumplimiento de la normativa respectiva.

Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar una propuesta de diseño de mezcla a partir de aceite vegetal usado para la obtención de velas artesanales que cumplan con estándares de calidad y así contribuir de forma positiva al medio ambiente.

Objetivo específico

- Caracterizar el aceite vegetal residual en sus propiedades físicas como la densidad y pérdida por calentamiento.
- Realizar una desodorización de AVU mediante dos procesos (filtrado con carbón activado y maceración) con la finalidad de eliminar olores.
- Optimizar el proceso de elaboración de velas artesanales a través del diseño experimental de mezclas con vértices extremos para obtener velas que cumplan con los estándares ASTM F-2417” ESPECIFICACIÓN ESTÁNDAR PARA LA SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS PARA VELAS”.

1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Aceite Vegetal

El aceite vegetal es un compuesto orgánico que se obtiene a partir de semillas o frutos que contienen aceite; están compuestos principalmente por lípidos saponificables principalmente triglicéridos además de ácidos grasos libres, ceras y esteroides (Labdassence, 2020). Se usa comúnmente como un ingrediente comestible para freír, cocinar, en la preparación de ensaladas y salsas, es bajo en grasas saturadas y colesterol, sin embargo, su consumo masivo está relacionado con enfermedades cardiovasculares y riesgos de ciertos cánceres (Muller, 2021).

1.2. Aceites vegetales comercializados en el Ecuador.

La comercialización de los aceites en el Ecuador depende de la oferta que a su vez depende de la calidad de la cosecha, el precio al consumidor, el nivel de producción y por otra parte de la demanda que depende de los gustos de los consumidores y precios (Salazar & Lissette, 2016). En la Figura 1 se pueden observar los tipos de aceites más comercializados en el país. Según el presidente del directorio de la asociación nacional de cultivadores de palma aceitera en Ecuador

se consume al año 300000 toneladas de aceite de palma, 30000 de girasol, 95000 de soya, 2000 de oliva, 1000 de canola y 500 de maíz (Chávez, 2022).

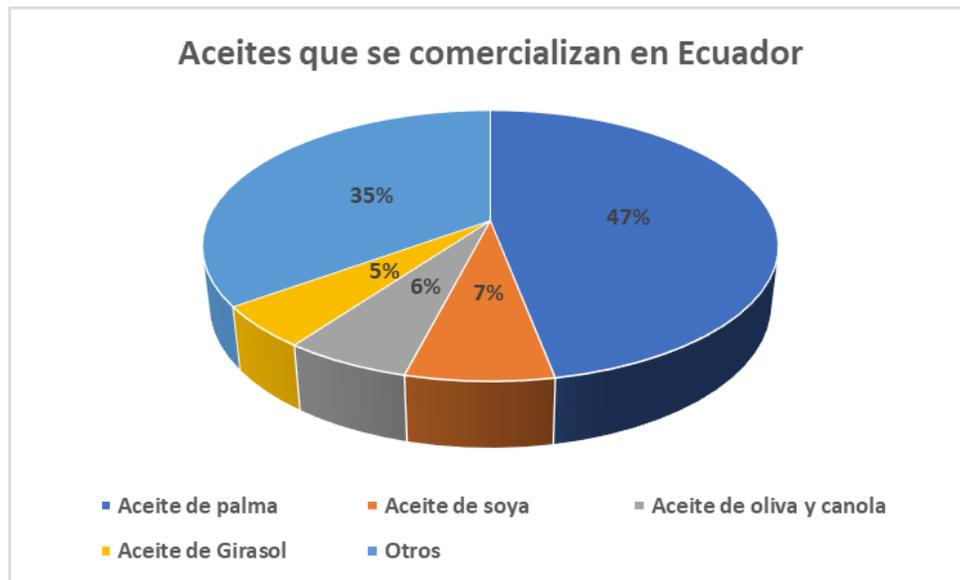


Figura 1. Aceites principales.

Fuente: (Cárdenas & Vélez, 2022).

Aceite Vegetal Usado.

El AVU (aceite vegetal usado) se genera de la cocción y fritura de alimentos en aceite vegetal; durante este proceso sufre cambios en sus características físicas, químicas y sensoriales ya que el aceite actúa como medio de transmisión de calor. El aceite también sufre modificaciones químicas y físicas debido al agua y otros componentes del alimento, por lo tanto, al aumentar el tiempo de uso, también aumenta el deterioro del mismo. El reusó o el uso por tiempo prolongado del aceite vegetal hace que disminuya su calidad nutricional como alimento y que se produzca la formación de compuestos tóxicos como polímeros, monómeros de ácidos grasos y compuestos polares que son ingeridos por el consumidor (Rivera et al., 2014). Las características de los AVUs se pueden ver en la tabla I.

Tabla I Caracterización del aceite vegetal usado.

Característica	Valor Experimental	Especificación	Referencias
Densidad a 20°C, g/ml	0,921	0,96	ASTM D1298
Viscosidad cinemática a 40 °C, mm ² /s	131,5934	50	ASTM-D445
Índice de acidez (mg KOH/g)	0,824	1,24	López et al., 2015
Porcentaje de acidez (%)	1	0,98	López et al., 2015
Índice de peróxidos (mg O ₂ /g)	1,7	2.16	López et al., 2015
Índice de yodo, g I ₂ /100 g	100,1	118-141	López et al., 2015

Problemática de acuerdo a la disposición final.

Según datos de la compañía quiteña Arc y Pieper, empresas que se dedican a la recolección de aceites vegetales usados, en el Ecuador se desechan 54 millones de litros de aceites usados de los cuales el 70% es de origen doméstico (9,4 millones de galones) (Vásconez, 2018). Los aceites vegetales usados son reciclados en pequeñas cantidades, mientras la mayor cantidad son vertidos a desagües ocasionando contaminación ambiental y daños al sistema de alcantarillado (Ministerio del Ambiente, 2017).

Los aceites vegetales usados al poseer baja solubilidad en el agua, baja densidad y biodegradabilidad, se adhieren a las tuberías del sistema de alcantarillado generando taponamientos y pérdida de la presión del agua; en las plantas de tratamiento de aguas puede ocasionar malos olores, atracción de moscas y roedores, y aumento de costos por infraestructura pues alteran los sistemas naturales de tratamiento (Ministerio del Ambiente, 2017).

En el suelo y en pequeñas cantidades, los aceites vegetales se consideran ecológicos y biodegradables a exposición prolongada al ambiente, pues pueden descomponerse. Las pruebas realizadas por la EPA OPPTS demuestran que se llega a una degradación completa en 28 días (Strauss, 2018). En medianas a grandes cantidades, el impacto que ocasionan los aceites vegetales usados en el suelo son la erosión, la pérdida de fertilidad del suelo, la destrucción de

hábitats y además crea una barrera que impide la absorción de los nutrientes necesarios para que exista vegetación (Ministerio del Ambiente, 2017).

En el agua, la contaminación por AVUs es aún más crítica pues un galón de aceite puede llegar a contaminar un millón de galones de agua (Vásconez, 2018). La presencia de AVUs en fuentes hídricas aumenta la demanda química de oxígeno, provocando una disminución del oxígeno disponible en el agua lo que resulta en la muerte de la fauna acuática (López et al., 2015).

Gestión del AVU

En la ciudad de Cuenca la Dirección de Gestión Ambiental de la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA EP) ha puesto en marcha una campaña de concientización para el cuidado del agua. Sus principales objetivos son proteger las fuentes de agua para mantener la calidad del agua de los ríos de la ciudad, también busca eliminar la contaminación en el suelo por derrames de aceites usados y proteger la salud de la población (*ETAPA EP - Gestión ambiental*, 2018).

Esta campaña consiste en recolectar los AVUs que generan los restaurantes ubicados en la ciudad. El aceite reciclado es llevado a la planta de tratamientos de aguas residuales que se encuentra en el sector de Ucubamba en donde es filtrado para luego ser almacenados en tanques a la espera de ser solicitados por particulares. Se estima que al mes se colectan 60 galones (*ETAPA EP - Gestión ambiental*, 2018). Existen muchas estrategias sostenibles para la valorización de este tipo de residuo, una de las alternativas es la conversión de estos aceites en bioenergía mediante pirólisis, otro uso es la producción de biodiesel (López et al., 2015). Otra alternativa es la utilización de este residuo para la realización de velas artesanales.

1.3. Preparación de Velas con AVUs

La producción de las velas se hace mediante la fusión de la cera o parafina con la finalidad de que este se vuelva de una consistencia líquida, se añade estearina con el fin de aumentar su dureza, también se le puede añadir fragancias o colorantes. Luego la cera que ya está fundida se vierte en un molde que contiene una mecha y se deja enfriar (Uribe, 2016). Para el caso de Los aceites vegetales usados colectados pueden tener diferentes características organolépticas además de físico-químicas por lo que previo a la preparación de las velas deberán ser procesados.

1.3.1 Tratamiento de los AVUs

Los AVUs tienen sólidos en suspensión por lo que es necesario una filtración, además poseen un característico olor a rancio por lo que se recomienda realizar una desodorización. Para el caso de velas sin color, también es necesario realizar un blanqueamiento para retirar el color amarillento que caracteriza a este residuo.

Desodorización AVUs:

Se conoce como desodorización al proceso que tiene como función principal la eliminación de malos olores (Yerien et al., 2010). Los procesos más empleados son la maceración y la filtración con carbón activado. La maceración es un proceso de extracción sólido-líquido que busca extraer una serie de principios activos o compuestos de la muestra tratada (Arévalo & Monroy, 2017). Uno de los sorbentes más usados en este proceso son los residuos del café. La lignina, la celulosa y la hemicelulosa son constituyentes de la pared celular de la pulpa del café y son los responsables de que se produzca la adsorción (Carvajal & Marulanda, 2020). Los residuos del café además de adsorber compuestos que generan malos olores y hasta metales, aportan aceites que proporcionan un aroma agradable al líquido tratado (Parada et al., 2018). Otro proceso usado para la desodorización y hasta el blanqueamiento de aceites, es la filtración con carbón activado. El uso del carbón activado tiene una gran capacidad para eliminar sustancias y una baja selectividad de retención (Sevilla, 2014). En el caso de los aceites, se recomienda el uso de carbón activado granular, debido a que al ser de mayor tamaño no aporta color al aceite vegetal usado y la filtración es más rápida y fácil de realizar.

1.3.2 Preparación de velas artesanales tipo llenas.

Las velas llenas son aquellas elaboradas dentro de un recipiente. Debido a que su producción es más artesanal existen pocos lineamientos acerca de su producción, sin embargo, para su preparación se necesita de aceites vegetal, ácido esteárico además de otros componentes opcionales como color y perfume. En la tabla II se pueden observar las cantidades recomendadas para la preparación de velas.

Tabla II Porcentaje de componentes.

Fuente Propia

Materia Prima	Porcentaje, %
<i>Aceite vegetal</i>	20 – 75
<i>Ácido Esteárico</i>	20 – 75
<i>Fijador de Perfume</i>	2 – 4
<i>Esencia Aromática</i>	3 -10

El proceso de preparación de las velas puede ser observado en la Figura. 2. Los pasos que se deben seguir son:

1. Calentamiento del AVU, ácido esteárico y fijador de perfume. Se calienta el aceite vegetal usado a una temperatura de 120 °C, por 5 minutos a agitación constante, de esta manera se elimina la humedad del aceite. A continuación, se adiciona el ácido esteárico; una vez que este componente funde, se coloca inmediatamente el fijador de perfume.
2. Preparación de las mechas. Las mechas y el número de pabilo se deben elegir de acuerdo al diámetro del envase que se usa.
3. Adición de esencia aromatizante y colorante. Se adiciona la esencia y colorante cuando la mezcla anterior este a 80 °C, de esta manera se asegura que el colorante se funda y la esencia se difunda fácilmente.
4. Colada. Se llama colada al proceso en el cual se coloca la mezcla en el envase, en esta parte es importante controlar la temperatura (50°C a 60°C) ya que existen posibilidades de obtener defectos en las velas, así también se recomienda que el envase esté a una temperatura media (50 °C) debido a que puede provocar un shock térmico y además provocar defectos en la vela.
5. Enfriamiento. Se espera que la mezcla se enfríe y empiece a endurecer.
6. Etiquetado. Finalmente se realiza el etiquetado considerando el logo de marca y las especificaciones de seguridad que se especifiquen en la norma.

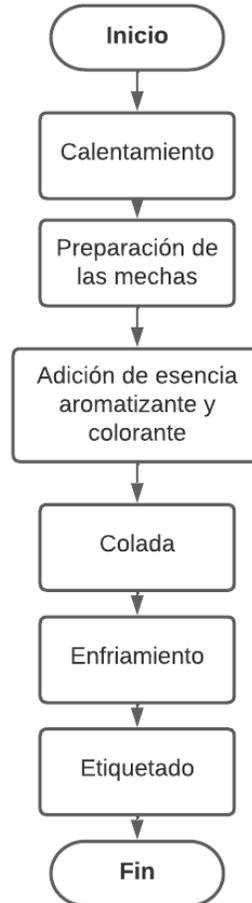


Figura 2 Proceso de elaboración de velas.

Fuente Propia

1.3.3 Normativas para las Velas

Según la norma ASTM F 1972 “la vela es un material a base de parafina, cera o sebo que se encuentra atravesado por una mecha y sostenida por un material sólido o semisólido o rígido a temperatura ambiente” (ASTM F 1972-19, 2019), puede contener aditivos como olor y color.

A nivel nacional la institución encargada de las normativas es el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN). Sin embargo, no existe una normativa vigente con respecto a las velas. La Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM) si considera en sus normativas

especificaciones a ser cumplidas para este tipo de productos, específicamente son las normas ASTM F2417, F1972 y F2058-07.

Norma ASTM F2417 “Standard Specification for Fire Safety for Candles”.

En esta normativa se indican los requisitos de seguridad establecidos para velas con el fin de proporcionar seguridad personal y prevenir incendios, muertes y lesiones. La normativa mide y describe los materiales, productos o ensamblajes al calor, también hace lineamientos acerca de la llama (ASTM F2417-17, 2017).

- Prueba de quemado: para esta prueba las velas deben ser quemadas en ciclos de 4 horas hasta el final de vida útil. Las mechas se deben recortar según la etiqueta de instrucciones del fabricante. El quemado debe realizarse en laboratorio con tiro mínimo; la temperatura de laboratorio debe oscilar entre 68 y 86 F. Las velas deberán ser espaciadas a un mínimo de 20 cm de distancia. Las alturas de llama observadas a intervalos periódicos deberán ser registradas al final de cada ciclo de quemado (Becker & Moss, 2010).

Las velas pasarán los requisitos de altura máxima de la llama si cumplen:

- Hasta 3 pulgadas (en la mayoría de velas)
- Hasta 3,75 pulgadas en velas religiosas
- Quedan exentas las velas quemadas al exterior (ASTM F2417-17, 2017).

No debe existir encendido secundario, es decir, que no debe presentar ignición ningún material que se encuentre cerca de la llama de la vela. En las Figura 3a se pueden observar ejemplos de encendido secundario. Tampoco deberán existir falla en los contenedores, en la Figura 3b se puede observar ejemplos de este fallo.

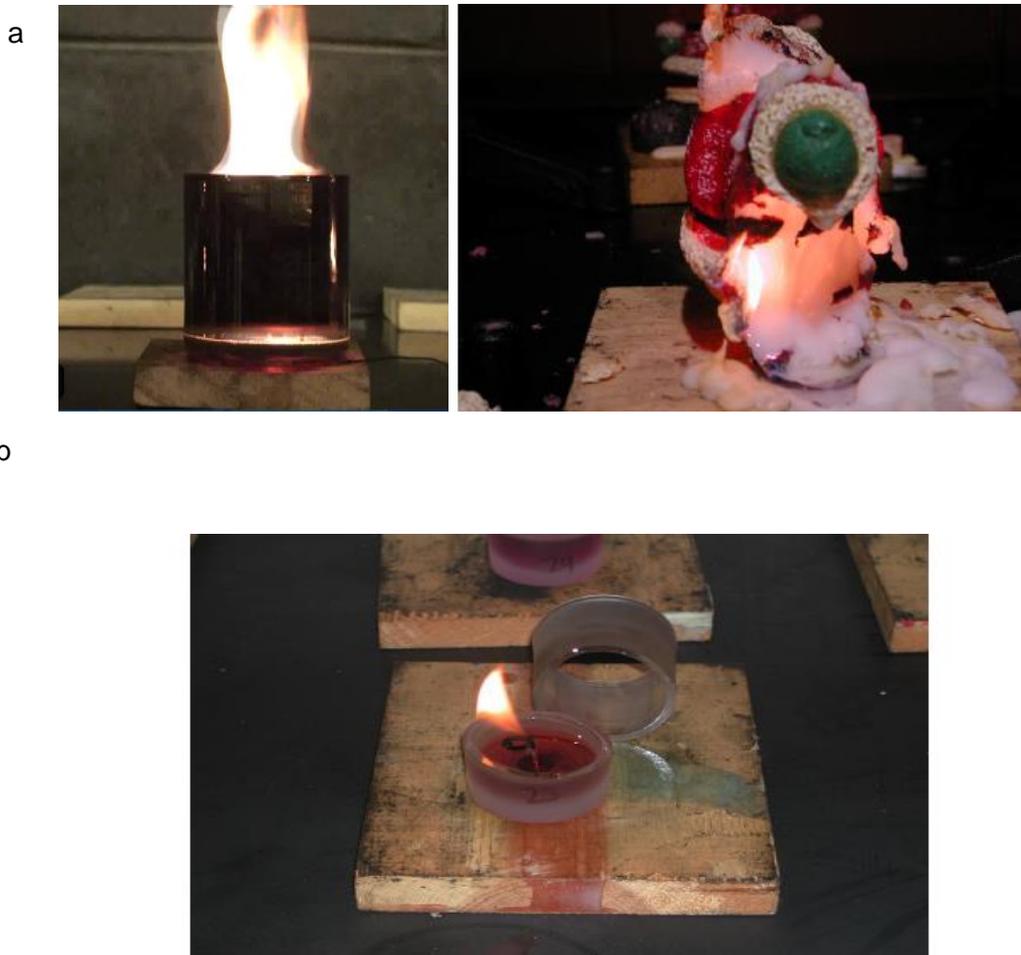


Figura 3 a) Encendido secundario. b) Falla contenedores

Fuente: (Becker & Moss, 2010).

Para el caso de las velas independientes se debe evaluar la estabilidad. Las velas deben permanecer estables cuando se inclinan a 10° de nivel. Pues "La vela encendida no debe volcarse durante la prueba de quemado" (ASTM F2417-17, 2017)

Norma ASTM F1972 "Standard Guide for Terminology Relating to Candles and Associated Accesory Items

Esta normativa establece un conjunto de definiciones con el fin de que consumidores, fabricantes y la comunidad científica utilice un lenguaje común para describir velas y accesorios (ASTM F 1972-19, 2019). Los términos son los siguientes:

- Vela Votiva. - Vela producida para uso totalmente dentro un accesorio.
- Vela llena. - Se usa y se produce en el mismo recipiente.
- Vela tipo gel. - Líquida y espesa.
- Mecha. - Objeto que produce llama por medio de una combustión.
- Fin de vida útil. - Se llega al fin de la vida útil cuando ya no existe combustión, la llama se extingue sola y no puede volver a prenderse (INEN, 2014).

Norma ASTM F2058-07 (2021): Standard Specification for Candle Fire Safety Labeling.

La norma ASTM F2058-07 2021 es la encargada en establecer los requisitos para el etiquetado de seguridad contra incendios de velas, con el fin de prevenirlos. La advertencia se debe colocar en la vela y esta debe estar visible para el consumidor. No debe ser cubierta u obstruida o eliminada por el fabricante o distribuidor. La advertencia de seguridad de solo texto, lleva el símbolo de alerta de seguridad seguido por la palabra "ADVERTENCIA", estas deberán estar en letras mayúsculas y negritas en cambio la advertencia de seguridad contra incendios de texto y pictograma consiste en el símbolo de alerta de seguridad más los pictogramas (Arguello, 2022). Los requisitos son mostrados en la tabla III.

Tabla III Requisitos.

Fuente: ASTM F2058-07 (2021).

Requisitos de tamaño mínimo para los componentes de la opción de advertencia de seguridad contra incendios de solo texto		
Superficie del panel de advertencia	Altura mínima del símbolo de alerta de seguridad y la palabra de advertencia, mm	Altura mínima de declaraciones de advertencia de seguridad contra incendios, mm
<i>21 cm² o menos</i>	1.5	1.3
<i>mayor de 21 cm², pero menor de 60 cm²</i>	1.5	1.3

60 cm ² o mayor	1.8	1,5
----------------------------	-----	-----

1.4. Diseño de mezclas Vértices extremos

El diseño de mezclas dentro del diseño experimental se usa para establecer la relación óptima de ingredientes o componentes en una mezcla (Rivva, 1992). Dentro de los componentes de una mezcla se pueden establecer ingredientes fijos y variables; estos últimos son los que estudian para determinar cuál es su cantidad óptima dentro de la mezcla y así lograr la mejor versión de un producto final. En un diseño simplex de mezclas, la cantidad en la mezcla de cada uno de los ingredientes estudiados puede variar de 0 a 100 %; siempre que se cumpla la restricción de que la suma total de todos los ingredientes variables de el 100 %; ver ecuación 1 donde x_i es la proporción de un componente dado en la mezcla.

Ecuación 1

$$\sum x_i = 1$$

Como se observa en la ecuación 1 esto posibilita que un ingrediente puede ser el único constituyente en un ensayo y puede no estar presente en otro. Sin embargo, existen casos donde alguno de los ingredientes no puede ser eliminado completamente de la formulación o casos en los que algún ingrediente no puede estar en exceso o defecto; en estos casos se deben establecer límites de sus proporciones en la mezcla. En el caso de que exista un desbalance acusado entre las proporciones recomendadas, se deberá usar el diseño de mezclas de vértice extremo (Montgomery, 2003). En otras palabras, al plantear el diseño hay que considerar que existen componentes que no pueden estar en exceso o no estar, pues de darse estos casos, el producto obtenido no cumpliría con los requisitos necesarios, por esto es necesario restringir el diseño otorgando límites superiores e inferiores a los componentes.

El diseño de mezcla de vértices extremos, es un diseño experimental de mezcla que abarca solo una parte de un diseño simplex, pues se considera un límite inferior y un límite superior para cada uno de los componentes que están presentes en la mezcla, de acuerdo a las restricciones establecidas para cada componente (*Soporte técnico de Minitab 20*, 2020). En este caso cumpliríamos con lo indicado en la ecuación 2.

La porción de los componentes puede expresarse en cualquier unidad y la suma de q componentes será igual a un valor fijo representado por la letra T.

Ecuación 2

$X_j =$ cantidad del componente j presente en la mezcla.

$$X_1 + X_2 + \dots + X_q = T$$

Donde, T es igual al 100%, a cada componente se le puede asignar un límite superior o un límite inferior.

Ecuación 3

$$L_j \leq X_j \leq U_j$$

$L_j = 0\%$ límite inferior

$U_j = 100\%$ límite superior

Considerando las restricciones dadas, se plantean una serie de experimentos para ser evaluados considerando una respuesta establecida. Los resultados son analizados y ajustados a diferentes modelos, generalmente se prueban los modelos lineal, cuadrático y cúbico especial (Gutiérrez & De la Vara, 2008). Se elige el modelo donde mejor se ajustan los datos de entre los modelos que resultaron significativos, es decir cuyo valor-p sea menor al nivel de significancia que generalmente es 0,05, asumiendo un nivel de confianza del 95%. Normalmente, se seleccionaría el modelo significativo más complejo. Los resultados del modelo se presentan en gráficas de superficie de respuesta, donde se presentan un gradiente de color para mostrar donde se encuentra la mezcla optimizada para producir el mejor resultado final.

Para realizar estos diseños es frecuente apoyarse en software, uno de estos es el software Statgraphics Centurion 18[®], en donde se puede formular un diseño de mezcla experimental, buscando así la ejecución más óptima para obtener un producto de buena calidad.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Caracterización del AVU

Se caracterizó el aceite vegetal usado para determinar la densidad y pérdida por calentamiento de este residuo.

Determinación de la densidad del aceite: La densidad es la relación entre la masa y volumen de un cuerpo. Según la norma INEN 0035:2012 para determinar la densidad se debe usar un picnómetro limpio, seco y vacío, el cual debe ser pesado en una balanza analítica, m_0 ,

Posteriormente se debe llenar el picnómetro con agua destilada y pesarlo, m_1 . Finalmente, se llena el picnómetro con la muestra, m_2 (INEN, 2012). Para obtener la densidad relativa de la muestra se debe calcular mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 4

$$\rho m = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} * \rho a$$

Determinación de la pérdida por calentamiento: La determinación de la pérdida por calentamiento en los aceites vegetales es la relación de la masa del agua que está presente en el aceite y la masa del material seco, expresado en porcentaje (González, 2014). Para determinar el contenido de humedad y otras materias volátiles por calentamiento en los aceites vegetales se debe pesar en una cápsula de porcelana 20 gramos de muestra preparada. A continuación, se debe calentar la cápsula con la muestra en una plancha eléctrica a razón de 10 °C por minuto hasta llegar a una temperatura de 90 °C siempre manteniéndola. Se debe reducir la temperatura de calentamiento cuando se observa la formación de burbujas en el fondo de la cápsula. Para eliminar completamente la humedad repetir el calentamiento a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ varias veces y su posterior enfriamiento a 95 °C y pesado en frío. Se debe repetir el calentamiento, enfriamiento en el desecador y pesaje, hasta cuando la diferencia entre dos resultados consecutivos no exceda de 0,002 g (INEN, 1973).

Ecuación 5

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} * 100$$

2.2 Preparación de las velas artesanales con el AVUs

El AVU fue proporcionado por ETAPA EP. El mismo fue filtrado y tratado para su desodorización previo su uso en las diferentes formulaciones de velas artesanales.

2.2.1 Tratamiento de desodorización de los AVUs

El objetivo de este proceso fue la eliminación de los olores que presentan los aceites vegetales usados, se testearon tres métodos: 1) la maceración del AVU en semillas de café tostado 2)

filtración mediante carbón activado y 3) un método combinado entre la maceración y la filtración con carbón activado. Los resultados obtenidos fueron comparados para elegir el método a ser fijado en el proceso.

Para la maceración del AVU en café se pesaron 100 gramos de café tostado para cada 600 gramos de aceite vegetal usado. La mezcla se colocó en un envase esterilizado y se tapó durante 3 semanas. cada día se realizó una agitación manual para homogenizar.

La filtración con carbón activado fue realizada con jeringuillas de 60 ml. En el interior de la jeringa se colocó papel filtro, seguido de carbón activado granulado. Se realizaron 3 ensayos variando la relación Carbón activado: AVU en las siguientes proporciones 1:3, 2:3 y 1:1 Los tres ensayos se pueden ver en la Figura 4.



Figura 4 Filtrado con carbón activado.

Fuente Propia

El método combinado unió los procesos antes mencionados, es decir, se realizó una maceración del aceite vegetal usado en café y posteriormente se procedió a filtrar por medio de carbón activado. Se usó la proporción Carbón activado: AVU que brindó el mejor resultado en el método anterior.

Para analizar las características como el color y olor del AVU después de los tres procedimientos anteriores se realizó un análisis del color usando la guía de Fava,2022, ver Figura 5. Además, se evaluó el aroma de cada uno de los AVUs resultantes de cada tratamiento usando una escala de Likert preparada con este fin, la misma puede ser revisada en la tabla IV. Cabe mencionar que estas evaluaciones las realizaron diversas personas comprendidas entre edades de 13 a 50 años. Dado que las velas estaban planteadas como coloreadas, se consideró para la elección principalmente los resultados de desodorización.

Mandarina Tangerine /tændʒəri:n/ #F28500	Naranja Orange /ɔrɪndʒ/ #FFA500	Ámbar Amber /æmbə/ #FFBF00
Bronce Bronze /brɒnz/ #B2560D	Anaranjado oscuro Burnt Orange /bɜ:ntɔrɪndʒ/ #CC5500	Mermelada Marmalade /mɑ:mələd/ #D16002
Mango Mango /mæŋgəʊ/ #FFBF34	Oxido Rust /rʌst/ #D05C39	Papaya Papaya /pəpəɪə/ #E66A35

Figura 5 Gama de colores.

Fuente: (Fava, 2022).

Tabla IV Escala de Likert para evaluación de olor

ESCALA LIKERT

OLOR	Olor a rancio no perceptible	5
	Olor a rancio poco perceptible	4
	Olor a rancio medianamente perceptible	3
	Olor a rancio muy perceptible	2
	Olor a rancio dominante	1

2.2.2 Preparación de las velas

Se prepararon 12 g de cada formulación, las velas fueron tipo llenas para lo cual fue usado un recipiente de aluminio de 3 cm de diámetro por 1.5 cm de alto. El colorante usado en todos los casos fue el rojo a la grasa en cantidad fija de 0,0124 gramos. El proceso constó de los siguientes pasos, se calentó el AVU desodorizado a 120 °C por 5 minutos. A continuación, se adicionó el ácido esteárico y el fijador de perfume en agitación. Se disolvió el colorante rojo. A continuación, se mezcló todo en agitación y se incorporó la esencia aromática. Se cortaron las mechas y se fijaron en el fondo del recipiente. La mezcla fue vaciada en el mismo y se dejó enfriar. El proceso es descrito en la Figura 6.

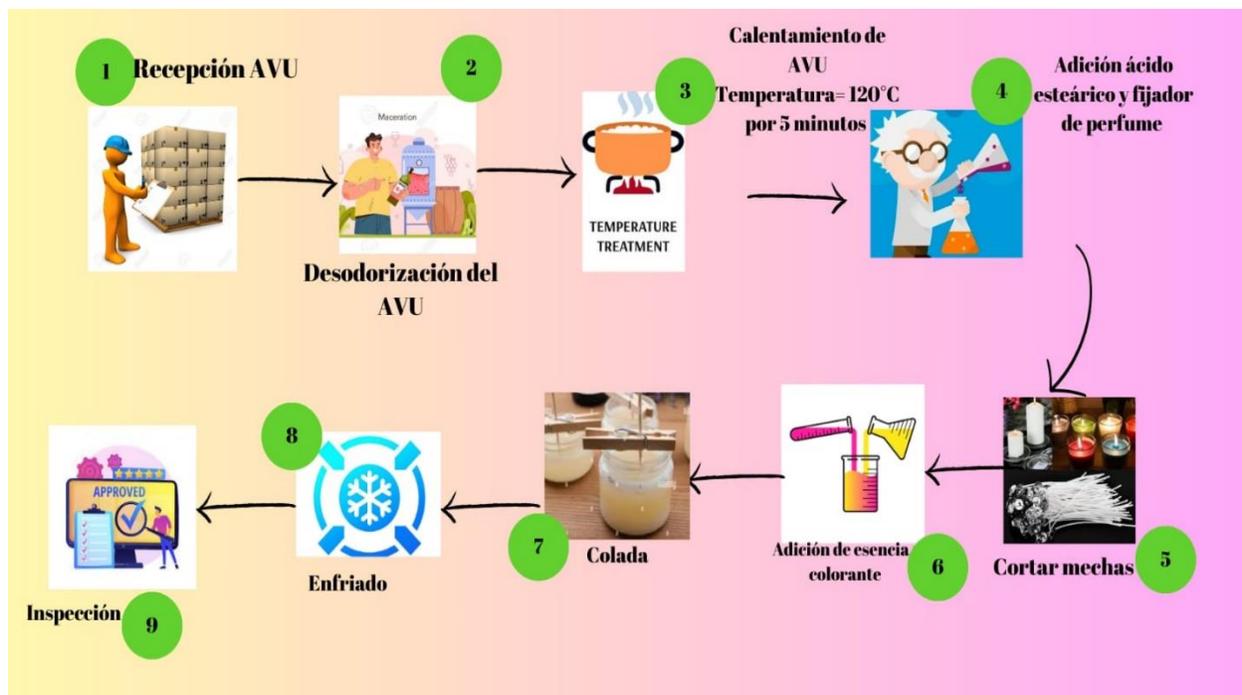


Figura 6 Procedimiento para la elaboración de las velas llenas con AVU

2.3. Diseño experimental

Como se mencionó en 2.2.1 y 2.2.2 se fijó el proceso de desodorización y la cantidad de colorante rojo. Los factores que variaron en la mezcla fueron la cantidad de AVU, de ácido esteárico, de esencia aromática y el fijador de perfume, de acuerdo a la ecuación 6.

Ecuación 6

$$AVU + \text{Ácido Esteárico} + \text{Esencia aromática} + \text{fijador de perfume} = 100\%$$

En base a las recomendaciones de fabricación encontradas en webs especializadas así como especificaciones encontradas de fábricas productoras, se establecieron los porcentajes en que los componentes debían variar (Granvelada.com, 2021). Es decir, se otorgaron restricciones, tanto, en los límites inferiores como en los superiores para cada uno de los componentes. Los límites fijados se pueden ver a continuación:

- AVU = 20% a 75 %
- Ácido esteárico = 20% a 75 %
- Esencia aromática = 3% a 10 %
- Fijador de perfume = 2% a 4%

Para obtener las combinaciones de los ingredientes se empleó el software Statgraphics 18 resultando en 8 ejecuciones o experimentos. Cada ejecución fue realizada con su respectivo duplicado. En la Tabla V se puede observar la cantidad de cada uno de los componentes asignada por experimento. Se verifica que la suma de ingredientes da como resultado el 100%, sin contar los componentes fijos, en este caso el colorante.

Tabla V Ejecuciones.

Fuente Propia

COMPONENTES					
Ejecución	Fijador de perfume	Esencia	AVU	Ácido Esteárico	Total
1	2%	3%	75%	20%	100%
2	2%	3%	20%	75%	100%
3	4%	3%	73%	20%	100%
4	4%	3%	20%	73%	100%
5	2%	10%	68%	20%	100%
6	2%	10%	20%	68%	100%
7	4%	10%	66%	20%	100%
8	4%	10%	20%	66%	100%

Evaluación de las velas obtenidas.

Para determinar la puntuación de cada vela se ponderaron las calificaciones obtenidas en las siguientes características:

- Altura de la llama (ASTM F'2417 ESTANDAR PARA PREVENIR INCENDIOS DE VELAS).
- Tiempo de consumo.
- Olor.
- Color.
- Apariencia.

La ponderación para estas características se puede observar en la tabla VI, se otorgó un mayor valor de porcentaje al atributo de seguridad establecido en las normas ASTM.

Tabla VI Ponderación.

Fuente Propia

Ponderación Características		
Atributos	Porcentaje, %	Consideración
<i>Altura de la llama</i>	30	De acuerdo a lo establecido en las normas ASTM
<i>Tiempo de Consumo</i>	15	Comparación con el tiempo de consumo de una vela comercial de las mismas características.
<i>Olor</i>	20	Se estableció una escala Likert para evaluar este criterio, tabla VIII.
<i>Color</i>	15	Se estableció una escala Likert para evaluar este criterio, tabla VIII.

<i>Apariencia</i>	20	Se estableció una escala Likert para evaluar este criterio, tabla VIII.
Porcentaje de la vela	100	

Para la evaluación de la altura de llama se considerará lo establecido en la norma ASTM F2417, la misma que establece únicamente la altura máxima en 7,62 cm. Para esta evaluación se consideró lo siguiente: si no existe altura de llama, es decir, no enciende, se otorgará una calificación de 0, mientras que si la altura de la llama está en un rango entre 0,5 y 7 cm el producto obtendrá la calificación máxima.

En cuanto a la evaluación del tiempo de consumo, se comparó cada vela con el tiempo de consumo de una vela comercial de parafina de similares características, que es 123 minutos. Haciendo esta consideración se planteó la tabla VII para evaluar este atributo.

Tabla VII Evaluación de tiempos de consumo

RANGOS DE TIEMPO, min ESCALA

<i>0 a 30</i>	1
<i>31 a 60</i>	2
<i>61 a 90</i>	3
<i>91 a 120</i>	4
<i>120 o más</i>	5

En la tabla VIII se observan los criterios para la evaluación sensorial del color, olor y apariencia. Es importante mencionar que estas evaluaciones las realizaron diversas personas comprendidas entre edades de 13 a 50 años.

Tabla VIII Escala Likert, evaluación sensorial.

ESCALA LIKERT

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN	ESCALA
COLOR	Coloración muy fuerte	5
	Coloración fuerte	4
	Coloración media	3
	Coloración débil	2
	Coloración muy débil	1
OLOR	Altamente Perceptible	5
	Muy Perceptible	4
	Perceptible	3
	Poco perceptible	2
	Nada perceptible	1
APARIENCIA	Nada Granulosa	5
	Poco granulosa	4
	Granulosa	3
	Muy Granulosa	2
	Excesivamente Granulosa	1

2.3 Cálculo de Costos

Para determinar el costo de la vela de mejor ponderación fueron considerados los precios del café, ácido esteárico, fijador de perfume, esencias aromáticas, mechas, envases, etiqueta, mano de obra y energía eléctrica para elaborar una docena de velas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultado de la caracterización del AVU

En la siguiente tabla se puede observar los resultados de la determinación de la densidad del aceite vegetal usado por duplicado, los resultados se muestran en la Tabla IX, se pueden ver más detalles en el Anexo A. La densidad del aceite usado según la norma ASTM D1298 es de hasta 0.96 g/cm^3 , por lo tanto, la densidad está dentro de la norma.

Tabla IX Resultado de la Determinación de la densidad del AVU.

Ensayos	Densidad (g/cm ³)	Media (g/cm ³)
1	0,9122	0,9124
2	0,9125	

Los resultados de pérdidas por calentamiento arrojaron un resultado medio 4,24%, ver tabla X. Este valor indica un contenido alto de humedad (Norma Mexicana, 2011), por lo que es imprescindible someter al aceite a un proceso de calentamiento a 120°C por 5 minutos para disminuir el contenido de humedad (González, 2014).

Tabla X Resultado de la determinación por pérdida de calentamiento

Ensayos	Pérdida por calentamiento, %	Media, %
1	4,25	4,24
2	4,22	

3.2 Resultados de la desodorización del AVU

En primer lugar, se compararon las técnicas de desodorización las cuales fueron maceración, filtración con carbón activado y método combinado. Para realizar la comparación se consideró dos características esenciales del AVU las cuales fueron el olor y color, los resultados se pueden observar en la tabla XI y XII:

Tabla XI Resultados de Olor

OLOR	ESCALA	AVU SIN TRATAMIENTO	AVU MACERADO	AVU FILTRADO			AVU M. COMBINADO
				1:03	2:03	1:01	
<i>Olor a rancio no perceptible</i>	5		X				X
<i>Olor a rancio poco Perceptible</i>	4						
<i>Olor a rancio medianamente perceptible</i>	3						
<i>Olor a rancio muy perceptible</i>	2			X	X	X	
<i>Olor a rancio dominante</i>	1	X					

Tabla XII Resultados del atributo color

TRATAMIENTO DEL AVU	GAMA DE COLORES	
AVU SIN TRATAMIENTO	Anaranjado oscuro	
AVU MACERADO	Mandarina	
AVU FILTRADO	1:3	Ámbar.
	2:3	Ámbar.
	1:1	Mango
AVU M. COMBINADO	Mango	

El resultado del tratamiento de maceración con granos de café fue un AVU con olor agradable a café, respecto al color no se consiguió una disminución del mismo.

Examinando las filtraciones realizadas con carbón activado se observó que el tiempo de filtración varía dependiendo de la cantidad de carbón activado, 25 minutos para la relación 1:3 carbón activado: AVU, 170 minutos para la relación 2:3 carbón activado: AVU y 764 minutos para la relación 1:1 carbón activado: AVU, es decir, a mayor cantidad de carbón activado mayor fue el tiempo de filtración. Evaluando el aroma del AVU se concluyó que el olor a rancio disminuye muy poco. La filtración de relación 1:1 fue la que en mayor medida redujo el color, es decir, a mayor cantidad de carbón activado, mayor disminución de color, sin embargo y pese al tiempo consumido en el proceso no se consiguió una decoloración adecuada, pues se llega a color mango.

El método combinado, se basó en una combinación de macerado con filtrado en carbón activado. El aceite macerado fue filtrado usando la relación 1:1 carbón activado: AVU, que corresponde a 30 ml de aceite vegetal y 30 cm³ de carbón activado, el tiempo de filtrado fue de 710 minutos; como resultado el AVU macerado retuvo el olor a café y se logró disminuir el color a tonalidad mango.

Al analizar los resultados obtenidos en cada uno de los tres tratamientos, ver figura 7, se concluye que con el macerado se obtuvo el mejor olor, mientras que con el filtrado 1:1 carbón activado: AVU, se obtuvo la mejor decoloración; con el método combinado, el olor del macerado permanece, pero el color disminuye apenas hacia mango, lo que no justifica el tiempo que emplea el proceso. Dados los resultados, se estableció al método de macerado simple en café como el método de tratamiento para remover el olor del aceite colectado. Además, dado que se fijó que las velas preparadas sean de color rojo, la decoloración no es un proceso indispensable.

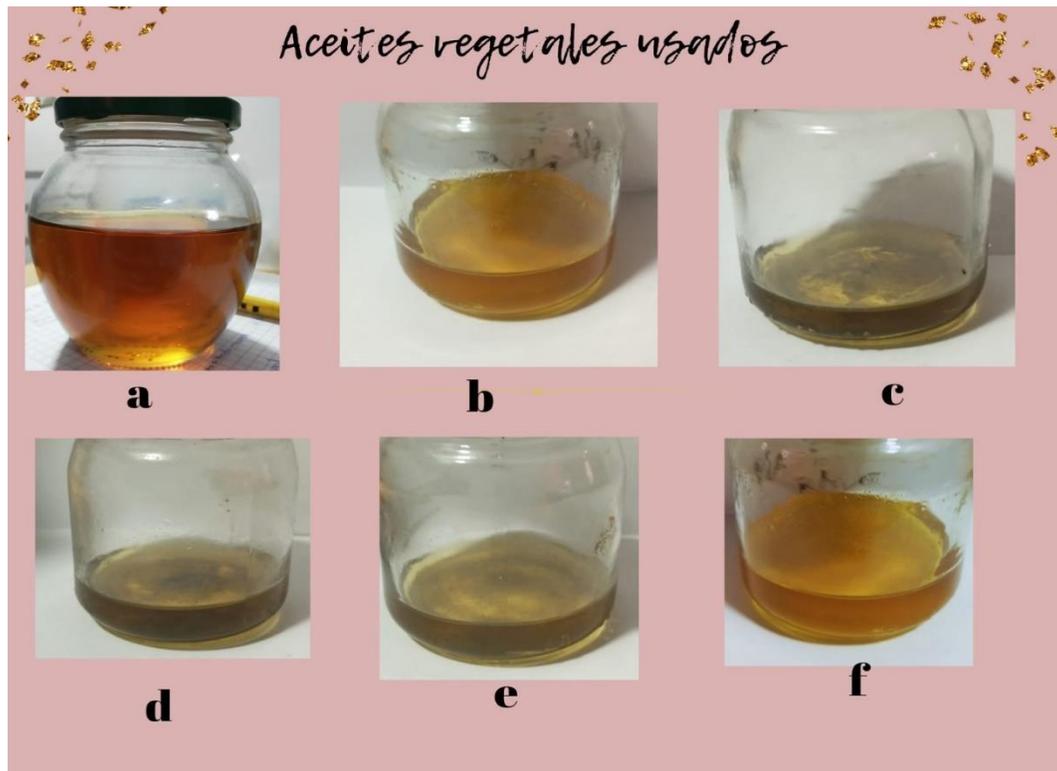


Figura 7 Resultados del AVU tratado.

a. AVU Sin Tratamiento; b. AVU MACERADO; c. AVU FILTRADO C.A. 10 cm³; d. AVU FILTRADO C.A. 20 cm³; e. AVU FILTRADO C.A. 30 cm³; AVU Método Combinado. Fuente Propia.

3.3 Resultados de la evaluación de características de las velas obtenidas por ensayo

Se efectuó la evaluación de características de las velas elaboradas en las ejecuciones planteadas de acuerdo a la tabla V. Los atributos calificados fueron: altura de la llama, tiempo de consumo, olor, color y apariencia. Las calificaciones fueron otorgadas de acuerdo a lo establecidos en las tablas de anexo B. La tabla XIII muestra el resumen de los resultados por ensayo.

Tabla XIII Ponderación de Características de las Ejecuciones Experimentales.

Fuente Propia.

PONDERACION DE CARACTERISTICAS						
Ejecución	Altura de la llama 3pulg AM (Val= 30%)	Tiempo de consumo (Val=15%)	Olor (Val =20%)	Color (Val= 15%)	Apariencia (Val= 20%)	Valoración sobre 5
1	1.5	0.75	0,4	0,45	0,6	3,7
2	1.5	0.75	0,8	0,35	0,2	3,6
3	1.5	0.75	0,6	0,6	0,4	3,85
4	1.5	0.75	0,6	0,3	0,2	3,35
5	1.5	0.75	0,8	0,75	1	4,8
6	1.5	0.75	0,8	0,32	0,2	3,57
7	1.5	0.75	0,6	0,6	0,6	4,05
8	1.5	0.75	0,8	0,3	0,28	3,63

Conforme a lo establecido en la norma ASTM, todas las ejecuciones realizadas y sus duplicados cumplen con la altura de llama estandarizada, la menor altura que presenta uno de los ensayos es 0,5 cm y la mayor es de 2 cm, cumpliendo todas con este requisito. Ninguna vela presenta un encendido secundario. Tomando como base una vela comercial cuyo tiempo de consumo fue 123 min, se encontró que las velas preparadas en este trabajo tuvieron un tiempo mínimo de consumo de 180 minutos y un tiempo máximo de 454 minutos, lo cuál supera el tiempo mínimo referenciado por la vela comercial y por lo tanto cumpliendo este requisito. De hecho, las velas elaboradas a partir de AVU tienen tiempos de consumo superiores en relación a las velas hechas con parafina. Conforme a lo establecido en la tabla V, los ensayos con mayor cantidad de ácido esteárico presentan una peor apariencia, esto debido a que este endurecedor tiende a formar cristales en la vela. De acuerdo a la tabla anterior, se puede observar que la vela con una ponderación alta es la número 5, teniendo una calificación de 4.8/5 cumpliendo con los estándares de seguridad establecidos y presentando las mejores características organolépticas.

3.4 Resultados del Análisis del Diseño Experimental

El modelo estadístico se ejecutó considerando la variación de proporciones entre los 4 factores experimentales fijador de perfume, esencia aromática, AVU y ácido esteárico y teniendo como variable respuesta la calificación recibida en su evaluación de características sobre 5. La Figura 8 indica los puntos de diseño establecidos para la mezcla, con las restricciones dadas para cada uno de los componentes.

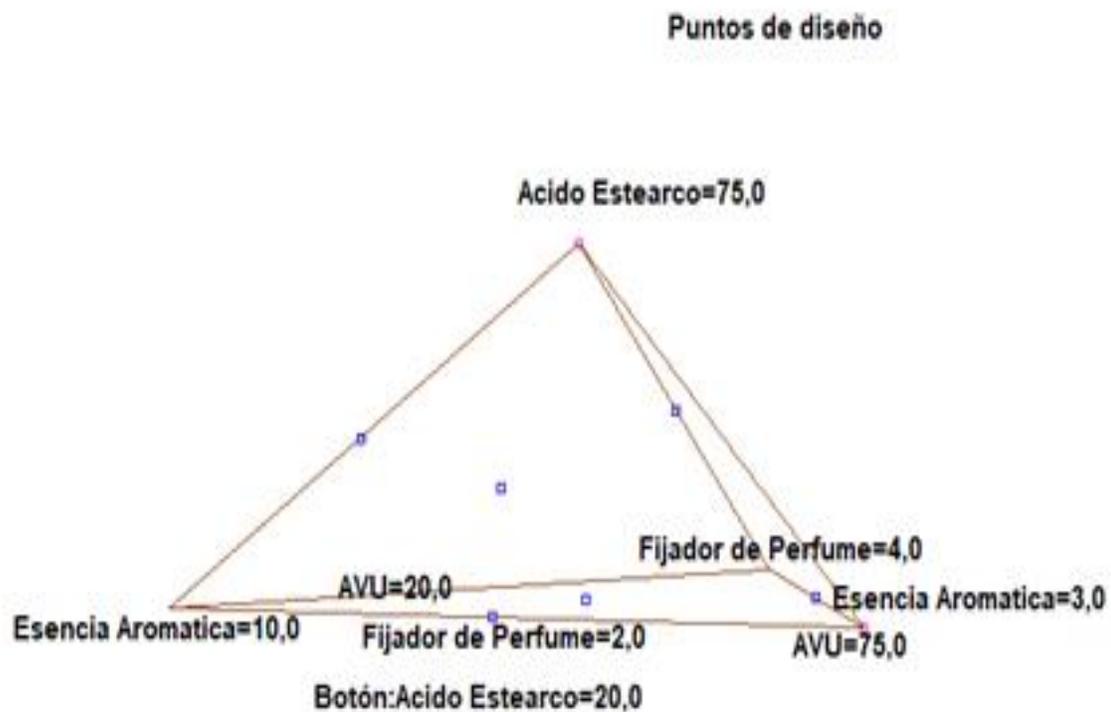


Figura 8 Grafica de puntos de diseño

Del análisis del modelo se determinó que el mejor ajuste se obtuvo con el modelo lineal, puesto que el valor de $p < 0,05$, ver tabla XIV, lo que indica que el modelo ajustado es estadísticamente significativo al 5,0% de nivel de significación. El estadístico R-cuadrado, muestra el porcentaje

de variación en la respuesta que es explicado por el modelo ajustado, en este caso es de alrededor del 60, ver tabla XV.

Tabla XIV Efectos Estimados del Modelo Completo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Media	92568,1	1	92568,1		
Lineal	779,806	3	259,935	8,59	0,0026
Error	363,132	12	30,261		
Total	93711,0	16			

Tabla XV Resultados del Modelo Completo

Modelo	ES	R-Cuadrada	R-Cuadrada Ajd.
Lineal	5,501	68,23	60,29

El modelo resultante es presentado en la ecuación 7:

Ecuación 7

$$\text{Calidad} = -39,25 * \text{Fijador de Perfume} + 136,063 * \text{Esencia} + 80,0353 * \text{AVU} + 68,3397 * \text{Acido Esteárico}$$

De acuerdo al modelo, la puntuación de la vela aumenta con una mayor cantidad de Esencia, AVU y ácido esteárico, pues estos términos son positivos y disminuye con el fijador de perfume, pues este término es negativo.

En la Figura 9 se puede observar los efectos de los cuatro componentes, a medida que aumenta la esencia aromática aumenta la variable respuesta o calificación de la vela. Observamos que el ácido esteárico no produce mucho cambio en la puntuación al aumentar su proporción. Al aumentar el AVU, se observa un importante incremento de la puntuación en comparación con el ácido esteárico. También podemos notar que, a mayor porcentaje de fijador del perfume en la mezcla, la respuesta disminuye.

Gráfica de Traza para Calificación

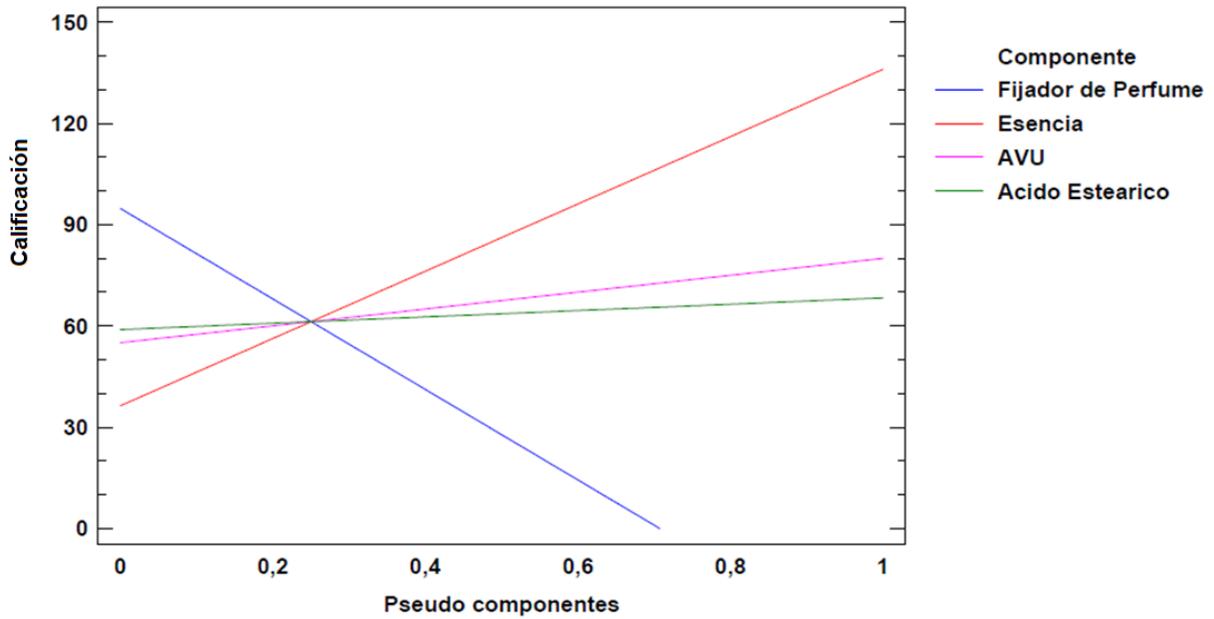


Figura 9 Grafica de Traza

La Figura 10 muestra la gráfica de superficie de respuesta estimada; se observa una sección pequeña donde se encuentra la formulación optimizada.

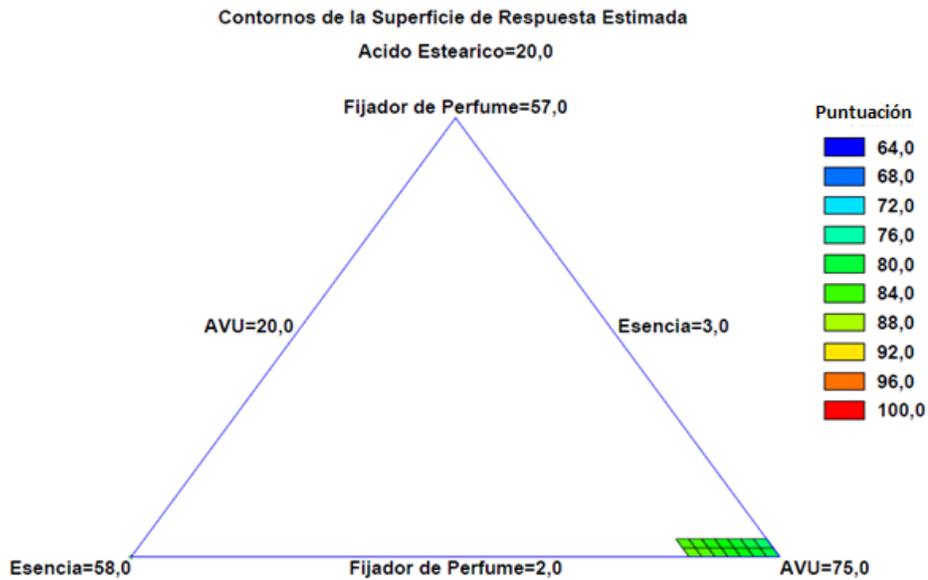


Figura 10 Superficie de Respuesta

La tabla XVI nos muestra la formulación optimizada para lograr la mejor puntuación posible dentro de los límites establecidos.

Tabla XVI Combinación de los niveles de los factores para maximizar la Respuesta

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Fijador de Perfume	2	4	2
Esencia Aromática	3	10	10
AVU	20	75	68
Ácido Esteárico	20	75	20

3.5 Resultados de Costo de elaboración.

En la tabla XVII se puede observar los costos directos para la elaboración de una vela artesanal de 12 gramos y el costo de una presentación por docena. Se obtuvieron los costos en base a la formulación óptima, ejecución número 5. Se tomó en cuenta el costo del grano de café tostado que se usó en la maceración, la cantidad de ácido esteárico, fijador de perfume y esencia aromática que se usó en la formulación, además de envases, mechas, etiquetas y cajas. Los costos de materiales son bajos y los valores más altos vienen de los envases, mechas y mano de obra. Se obtuvo un costo unitario por vela artesanal de 12 gramos de 0,29 centavos. El costo por docena es de 3,85, ver Anexo C.

Tabla XVII Costo de Elaboración.

DESCRIPCIÓN	COSTO	Costo (1 vela)	Costo (12 velas)
<i>Café en grano(g)</i>	0.014	0,02	0,24
<i>Ácido Esteárico(g)</i>	0,003	0,008	0,09
<i>Fijador de perfume (g)</i>	0,0268	0,01	0,08

<i>Esencias aromáticas (g)</i>	0,02	0,02	0,29
<i>Colorante (g)</i>	0,0225	0,002	0,002
<i>Mechas</i>	0,1	0,10	1,20
<i>Envases</i>	0,1	0,10	1,20
<i>Etiqueta</i>	0,04		0,08
<i>Caja</i>	0,2		0,20
<i>Mano de obra (min)</i>	1,88	0,03	0,47
<i>Servicios básicos (kv-hora)</i>	0,09		0,002
TOTAL		0,29	3,85

3.6 Diseño de Logo y Etiqueta de velas de acuerdo a la normativa

La Figura 11 se muestra el logo escogido para la empresa de nombre “VELUMBRA”, que es la unión de 2 palabras como son vela y alumbra; también se observa el eslogan de “Recicla y da luz”, mediante el cual los consumidores conocerán que estas velas son un producto verde.



Figura 11 Logo.

Fuente Propia

Etiqueta basada en la Norma ASTM F2058-07 (2021): Especificación estándar para el etiquetado de seguridad contra incendios de velas.

Las etiquetas presentadas en las Figura 12 y 13, son basadas en la norma ASTM F2058-07, en la cual establecen el etiquetado de seguridad contra incendios. Se puede observar que estas etiquetas presentan las palabras de advertencia, instrucciones de uso, además de pictogramas, tal cual indica la norma.



Figura 12 Etiqueta.

Fuente Propia



Figura 13 Etiqueta.

Fuente Propia

3.7 Proceso Optimizado

En la Figura 14 podemos observar diagrama de flujo de un proceso de producción, con el método optimizado para la obtención de velas artesanales a partir de aceite vegetal usado.

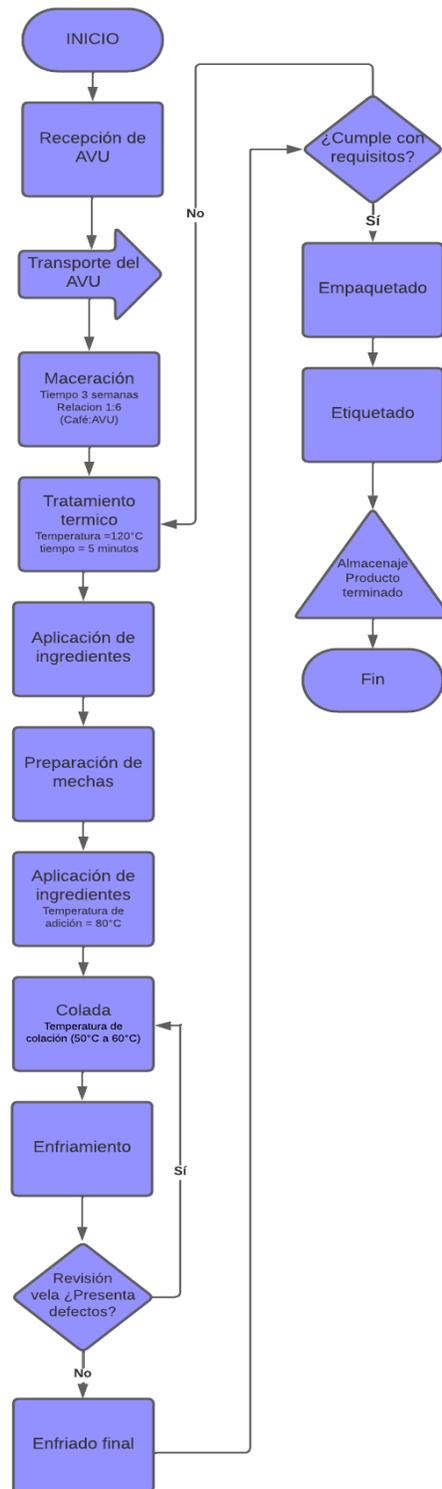


Figura 14 Diagrama de flujo de proceso de producción

En la tabla XVIII se describirá cada uno de los procesos y parámetros necesarios, con las proporciones óptimas establecidas durante este proyecto.

Tabla XVIII Proceso Optimizado

N° Proceso	Nombre	Parámetros
1	Recepción del AVU	Verificar la cantidad del Producto y Características del mismo
2	Transporte de materia prima	Traslado adecuado de un lugar a otro en la cantidad requerida.
3	Maceración en Frío	Se realizará con semillas de café tostado, el tiempo de reposo es de 3 semanas, con agitación diaria. Cantidad 100g de café para 600 ml de AVU.
4	Tratamiento Térmico	A una temperatura de 120°C, por 5 minutos, con agitación constante. Porcentaje a AVU en la fórmula = 68 %
5	Adición de Acido y fijador de perfume	Añadir el Ácido Esteárico = 20% Fijador de Perfume = 2%
6	Cortar mechas	Medición de envase para colocar las mechas en los envases y que sean cortadas
7	Adición esencia aromática y colorante	Temperatura de adición 80 °C Esencia Aromática= 10% Colorante = 0,0124 gramos.
8	Colada	Temperatura de colación (50°C a 60°C)

9	Enfriado	Tiempo estimado de enfriado 2 horas
10	Inspección	Revisar si existiere defectos en las velas elaboradas
11	Empaquetado	Proceso para su respectiva comercialización.
12	Etiquetado	Etiqueta basada en Norma ASTM F2058-07 (2021): Especificación estándar para el etiquetado de seguridad contra incendios de velas
13	Almacenamiento	Mantener en un lugar seco a temperatura baja.

CONCLUSIONES

Al realizar este trabajo de titulación se concluye que:

- La densidad del aceite vegetal usado fue de 0,912 g/cm³. La cantidad de humedad fue de 4,24%, por lo cual el AVU tuvo que tratarse en un proceso térmico para eliminar la humedad del mismo y esta no interfiera en la elaboración de las velas.
- Se realizó la desodorización mediante tres procesos que fueron maceración del AVU, filtración con carbón activado y método combinado. El mejor olor se consiguió con la maceración y el mejor color con las filtraciones con carbón en proporción 1:1, en cuanto al método combinado este mantuvo el olor conseguido en el proceso de maceración y se redujo el color a nivel mango. Del análisis de estos resultados, se concluyó que el proceso que más se ajusta al proceso es el de maceración.
- Se obtuvieron velas artesanales a partir del aceite vegetal usado el mismo que fue macerado con semillas de café, las formulaciones fueron planteadas y analizadas con un diseño de mezclas de vértices. La formulación para velas artesanales que dio los mejores resultados y que cumple los estándares establecidos en la NORMA ASTM F 2417 fue la siguiente, 2% de fijador de perfume con un porcentaje, 10 % de esencia aromática, 68 % de aceite vegetal usado y 20 % de ácido. La vela que corresponde a la formulación

óptima aprueba las pruebas de quemado de la norma ASTM F 2417, presentando una altura de la llama de 1 cm, no presenta un encendido secundario, cumple con el requisito de la estabilidad puesto que esta no se cae y cumple con el fin de vida útil, siendo el tiempo de consumo de 333 min.

- De acuerdo a la norma ASTM F 1972 se determinó que las velas obtenidas son del tipo llenas y de alto punto de fusión. Se diseñaron etiquetas considerando lo establecido en la norma ASTM F2058 que norma el requisito para etiquetado de seguridad contra incendios de velas; las etiquetas realizadas cumplen con la altura especificada del símbolo de alerta de seguridad y la palabra de advertencia, además de las declaraciones de advertencia de seguridad contra incendios.
- El costo de elaboración de una vela artesanal de 12 gramos es de 0,29 centavos y el paquete de presentación de 12 unidades es de \$ 3,85. Este costo es mayor a las velas comerciales. Sin embargo, hay que considerar que este es un producto verde y de esta manera contribuimos para reducir la huella de carbono mediante las 3R. Además, aunque el costo de la vela a base de AVU sea más elevado que una vela comercial, el beneficio es mayor, ya que el tiempo de vida útil es más prolongado en comparación con las velas comerciales.

Referencias

Aceites vegetales usados—Secretaría Distrital de Ambiente. (2018).

<https://ambientebogota.gov.co/aceites-vegetales-usados>

Areválo, D. M. A., & Monroy, D. A. M. (2017). *Desarrollo de la ingeniería conceptual para la producción de la pomad calendae a base de extracto natural de caléndula.*

Arguello, F. (2022, octubre 14). *ASTM F2058-07 2021: Etiquetado de seguridad contra incendios de velas - Infoteknico.* <https://www.infoteknico.com/astm-f2058-07-2021/>

ASTM F2417-17—Especificación estándar de seguridad contra incendios para velas. (2017).

<https://webstore.ansi.org/standards/astm/astmf241717>

ASTM Internacional—ASTM F1972-19 Guía estándar para terminología relacionada con velas y artículos accesorios asociados. (2019).

<https://standards.globalspec.com/std/13302135/ASTM%20F1972-19>

Becker, J., & Moss, B. (2010). *ASTM Standards and the Candle Industry.*

Cardenas, M., & Velez, J. (2022). *Análisis técnico del aprovechamiento del aceite vegetal usado del cantón Cuenca—Ecuador.*

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23501/4/UPS-CT010100.pdf>

Carvajal, E., & Marulanda, L. (2020). Uso de residuos de café como biosorbente para la remoción de metales pesados en aguas residuales. *Ingenierías USBMed*, 11, 44-55.

<https://doi.org/10.21500/20275846.4477>

Chavez, C. (2022, julio 11). *Revista Lideres.* Revista Lideres.

<http://www.revistalideres.ec/lideres/carlos-chavez-ecuador-consume-aceite.html>

Concepto y definicion. (2021). Concepto de - Definición de. <https://conceptodefinicion.de/vela/>

Diaz, L. (2022, septiembre 26). *¿Cómo usar el fijador de aroma y el colorante en mis velas? ¡3 beneficios que te dejarán boquiabierto! | Velas e Insumos León [Velas e Insumos León].*

<https://velaseinsumosleon.com/como-usar-el-fijador-de-aroma-y-el-colorante-en-mis-velas-3-beneficios-que-te-dejaran-boquiabierto/>

ETAPA EP - *Gestión ambiental*. (2018). <https://www.etapa.net.ec/informacion/gestion-ambiental/gestion-ambiental-urbana/programa-de-recoleccion-de-aceites>

Fava, M. (2022). *Colores en italiano: 99 lindas tonalidades del menta al mora*. Berlitz. <https://www.berlitz.com/es-us/blog/colores-en-italiano>

González, O. (2014). *Evaluación de los métodos analíticos para la determinación del porcentaje de humedad en aceites de una compañía ecológica*.

Granvelada.com. (2015, octubre 9). Mechas para velas: ¿cuál debo utilizar y en qué se diferencian? *Blog de Gran Velada*. <https://www.granvelada.com/blog/que-mecha-utilizo-en-mi-vela/>

Granvelada.com. (2021, septiembre 1). Diferencias entre aceite esencial y esencia aromática: Descúbrelas aquí. *Blog de Gran Velada*. <https://www.granvelada.com/blog/diferencia-entre-aceite-esencial-y-esencia-aromatica/>

Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y Diseño de Experimentos (2da ed.)*. McGraw-Hill. https://www.academia.edu/51368123/Analisis_y_Disenio_de_Experimentos_Humberto_Roman_2da_Ed_McGrawHill

INEN. (2014). *RTE INEN 163 "VELAS, CIRIOS Y SIMILARES".pdf*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-163.pdf>

INEN. (1973). *Norma INEN 39*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/39.pdf>

INEN. (2012). *Nte_inen_35-1.pdf*. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_35-1.pdf

- Labdassence. (2020, octubre 2). *Aceites vegetales que és, composición y clasificación*.
- Labdassence. <https://www.labdassence.com/es/aceites-vegetales-que-es-clasificacion-y-composicion/>
- Legaz, R. (2011). Estudio de la viscosidad y densidad de diferentes aceites para su uso como biocombustible. *ResearchGate*.
- https://www.researchgate.net/publication/46775477_Estudio_de_la_viscosidad_y_densidad_de_diferentes_aceites_para_su_uso_como_biocombustible
- López, L., Bocanegra, J., & Malagón, D. (2015). *Obtención de biodiesel por trcmsesterificación de aceite de cocina usado*.
- http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-21262015000100008
- Marcano, D. (2018). *Introducción a la Química de los Colorantes*.
- <http://saber.ucv.ve/handle/10872/19390>
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Documento Soporte Tecnico ACU -Ajustes -29-09-17.pdf*.
- <https://www.andi.com.co/Uploads/Documento%20Soporte%20Tecnico%20ACU%20-Ajustes%20-29-09-17.pdf>
- Ministerio para la transicion ecologica y el reto demografico. (2021). *Aceites de cocina Usados*.
- <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/aceites-cocina/>
- Montgomery, D. C. (2003). *Diseño y análisis de experimentos*. México, D.F. : Limusa Wiley.
- <http://archive.org/details/disenoyanalisisd0000mont>
- Muller, D. (2021, octubre 31). *¿Qué es el aceite vegetal y es malo para usted? | MSSM-GHC*.
- <https://mssm-ghc.org/que-es-el-aceite-vegetal-y-es-malo-para-ti/>
- Norma Mexicana. (2011). *Norma Mexicana ALIMENTOS – ACEITE VEGETAL COMESTIBLE – ESPECIFICACIONES*. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2010/nmx-f-223-scfi-2011.pdf>

- Parada, M., Caballero, L., & Rivera, M. (2018). Características Fisicoquímicas de tres variedades de café tostado y molido cultivados en norte de Santander. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 15(1), 66.
<https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2017.2963>
- Ramírez, J., Buestán, L., López-Maldonado, E. A., & Pinos-Vélez, V. (2023). Preparation and Physicochemical Characterization of Biodiesel from Recycled Vegetable Oil in Cuenca, Ecuador by Transesterification Catalyzed by KOH and NaOH. *Eng*, 4, 954-963.
<https://doi.org/10.3390/eng4010056>
- Recipientes para velas. 4 tipos de envases que puedes usar para tus creaciones | Velas e Insumos León.* (2022, octubre 5). <https://velaseinsumosleon.com/recipientes-para-tus-velas-4-tipos-de-envases-que-puedes-usar/>
- Rivera, Y., Gutierrez, C., & Gomez, R. (2014). *Cuantificación del deterioro de aceites vegetales usados en procesos de frituras en establecimientos ubicados en el Municipio Libertador del Estado Mérida.* <https://www.redalyc.org/pdf/5075/507550626005.pdf>
- Rivva, E. (1992). *Diseño de Mezclas_ Enrique Rivva Lopez—[PDF Document]*. vdocuments.pub.
<https://vdocuments.pub/disenio-de-mezclas-enrique-rivva-lopez-56aec3a719d65.html>
- Salazar, F., & Lissette, K. (2016). *Incidencia de las acciones promocionales como soporte de la gestión de venta de Aceites comestibles en el canal tradicional de Guayaquil. Estudio del caso Marca La Favorita.*
- Sanchez, G. N. M., & Dumet, H. S. D. (2021). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de jabones naturales desinfectantes hechos a base de yacon, cebolla y aceite vegetal usado con motivos peruanos a nivel nacional.*
http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/16931/4/MARINO_SANCHEZ_GAB_DES.pdf

Sevilla. (2014). *Manual Del Carbón Activo | PDF*. Scribd.

<https://www.scribd.com/document/408375886/Manual-Del-Carbon-Activo>

Soporte técnico de Minitab 20. (2020). [Mtbtopic]. Minitab. <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/>

Statgraphics Distribuidor—Software científico y técnico. (2019). Scientec.

<https://www.scientec.com.mx/statgraphics/>

Stea, M. (2019, noviembre 6). *Ácido esteárico (CH₃(CH₂)₁₆COOH): Estructura, propiedades, usos*. Lifeder. <https://www.lifeder.com/acido-estearico/>

Strauss, D. (2018, marzo 10). *El aceite vegetal como dieléctrico: Una solución rentable y ecológica*. *energeticahoy*. <https://www.energeticahoy.com/post/2018/03/10/el-aceite-vegetal-como-dieléctrico-una-solución-rentable-y-ecológica>

Uribe. (2016, julio 26). *Proces técnico industrial de las velas. PROYECTO TECNOLÓGICO 5.3*.

<https://velaskawaii.blogspot.com/2016/07/proceso-tecnico-industrial-de-las-velas.html>

Vásconez, L. (2018). *Convenios en cinco ciudades del Ecuador para reciclar aceites usados*. El

Comercio. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/convenios-ciudades-ecuador-reciclar-aceites.html>

Yerien, M. N., Parodi, C. A., & Campanella, E. A. (2010). *Estudio de la Desodorización de Aceite de Soja por Simulación. Información tecnológica, 21(4)*.

<https://doi.org/10.4067/S0718-07642010000400004>

Anexo A

Cálculos de la determinación de la densidad del AVU

Obtuvimos los siguientes resultados en la determinación de la densidad:

$$m_0 = 10,2310 \text{ g}$$

$$m_1 = 15,0226 \text{ g}$$

$$m_2 = 14,6178 \text{ g}$$

$$\rho_a = \text{densidad del agua} = 0.997\ 048 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_m = \frac{14,6178 - 10,2310}{15,0226 - 10,2310} * 0.997\ 048 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_m = \mathbf{0,9122 \text{ g/cm}^3}$$

Duplicado

$$m_0 = 10,2324 \text{ g}$$

$$m_1 = 15,0154 \text{ g}$$

$$m_2 = 14,6106 \text{ g}$$

$$\rho_a = \text{densidad del agua} = 0.997\ 048 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_m = \frac{14,6106 - 10,2324}{15,0154 - 10,2324} * 0.997\ 048 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_m = \mathbf{0,9125 \text{ g/cm}^3}$$

Cálculos de la determinación de la pérdida por calentamiento

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} * 100$$

$$m = 100,844$$

$$m_1 = 120,9089$$

$$m_2 = 120,0615$$

$$P = \frac{120,9089 - 120,0615}{120,9089 - 100,844} * 100$$

$$P = 4,2232\%$$

Duplicado

$$m = 57,4847$$

$$m_1 = 77,5212$$

$$m_2 = 76,6694$$

$$P = \frac{77,5212 - 76,6694}{77,5212 - 57,4847} * 100$$

$$P = 4,2512\%$$

P= pérdida por calentamiento, % de masa

m= masa de la capsula en gramos con el agitador.

m₁= masa de la capsula con la muestra y el agitador en gramos.

m₂= masa de la capsula con el agitador y la muestra después del calentamiento en gramos.

Anexo B

Tabla XIX Resultados medio de los atributos Color, Olor y Apariencia.

ESCALA LIKERT

ATRIBUTO		ESCALA	ENSAYO	RESULTADO
COLOR	Coloración muy fuerte	5	1	3
	Coloración fuerte	4	2	2
	Coloración media	3	3	4
	Coloración débil	2	4	2
	Coloración muy débil	1	5	5
			6	2
			7	4
			8	2
OLOR	Altamente Perceptible	5	1	2
	Muy Perceptible	4	2	4
	Perceptible	3	3	3
	Poco perceptible	2	4	3
	Nada perceptible	1	5	4
			6	4
			7	3
			8	4
APARIENCIA	Nada Granulosa	5	1	3

Poco granulosa	4	2	1
Granulosa	3	3	2
Muy Granulosa	2	4	1
Excesivamente Granulosa	1	5	5
		6	1
		7	3
		8	1

Tabla XX Resultado de Atributo tiempo de consumo

ENSAYO	Tiempo de consumo (min)	Resultado
1	373	5
2	340	5
3	300	5
4	316	5
5	333	5
6	180	5
7	286	5
8	454	5

Tabla XXI Resultado del atributo Altura de la Llama

Ensayo Altura de la llama Resultado

1	1 cm	5
2	0,7 cm	5
3	1 cm	5
4	1,5 cm	5
5	1 cm	5
6	2 cm	5
7	0,5 cm	5
8	1 cm	5

Tabla XXII Control de requisitos norma ASTM F 2417.

REQUISITOS NORMA ASTM F 2417							
Ejecuciones	ALTURA DE LA LLAMA	ENCENDIDO SECUNDARIO	FIN DE VIDA ÚTIL	ESTABILIDAD	Tiempo de consumo (min)		
	Min no establecida					Max 7,62 cm	
	Altura controlada					Cumple	
1	1	SI	NO PRESENTA	Cumple	Cumple	373	
2	0,7	SI	NO PRESENTA	Cumple	Cumple	340	
3	1	SI	NO PRESENTA	Cumple	Cumple	300	
4	1,5	SI	NO PRESENTA	Cumple	Cumple	316	
5	1	SI	NO PRESENTA	Cumple	Cumple	333	
6	2	SI	NO PRESENTA	Cumple	Cumple	180	
7	0,5	SI	NO PRESENTA	Cumple	Cumple	286	
8	1	SI	NO PRESENTA	Cumple	Cumple	454	

Tabla XXIII Lineal Resultados de Ajuste de Modelo

Parámetro	Estimado
A: Fijador de Perfume	-39,25
B: Esencia	136,063
C: AVU	80,0353
D: Acido Esteárico	68,3397

Anexo C

Cálculo de Costos

Macerado

Se obtuvo que 100g de café producen una maceración de 600 gramos de AVU, los 600 gramos de aceite equivalen a 75 velas elaboradas, por lo tanto

$$\$1,4 \rightarrow 75 \text{ velas}$$

$$X \rightarrow 1 \text{ vela}$$

$$X = 0,02$$

Ácido esteárico

Se necesita 2,4 gramos de ácido para elaborar una vela artesanal de 12 gramos, es decir que si:

$$500 \text{ g de acido} \rightarrow \$1,62$$

$$2,4 \text{ g de acido} \rightarrow X$$

$$X = \$0,008$$

Fijador de perfume

Para una vela se necesita 0,24 g de fijador, entonces:

$$100 \text{ g de fijador} \rightarrow \$2,68$$

0,24 g de fijador $\rightarrow X$

$$X = \$0,006$$

Esencia aromática

Se necesita para una vela 1,20 gramos de esencia:

100 g de esencia $\rightarrow \$2$

1,2 g de esencia $\rightarrow X$

$$X = \$0,024$$

Colorante

Se necesita 0,1 g de colorante para 12 velas:

100 g de colorante $\rightarrow \$2,25$

0,1 $\rightarrow X$

$$X = \$0,002$$

Mano de obra

El tiempo que se invierte en realizar 12 velas es de 15 minutos:

60 min $\rightarrow \$1,88$

15 min $\rightarrow X$

$$X = \$0,47$$

Servicios básicos

El servicio de luz eléctrica (kv-hora) tiene un costo de 0,09 centavos, por lo tanto:

60 min $\rightarrow \$0,09$

15 min \rightarrow X

X = \$0,002

Anexo D

Registro Fotográfico.



Figura 15 Proceso de maceración.

Fuente Propia.



Figura 16 Filtración de AVU con carbón activado.

Fuente Propia



Figura 17 Determinación de la densidad.

Fuente Propia.



Figura 18 Determinación de la pérdida por calentamiento.

Fuente Propia

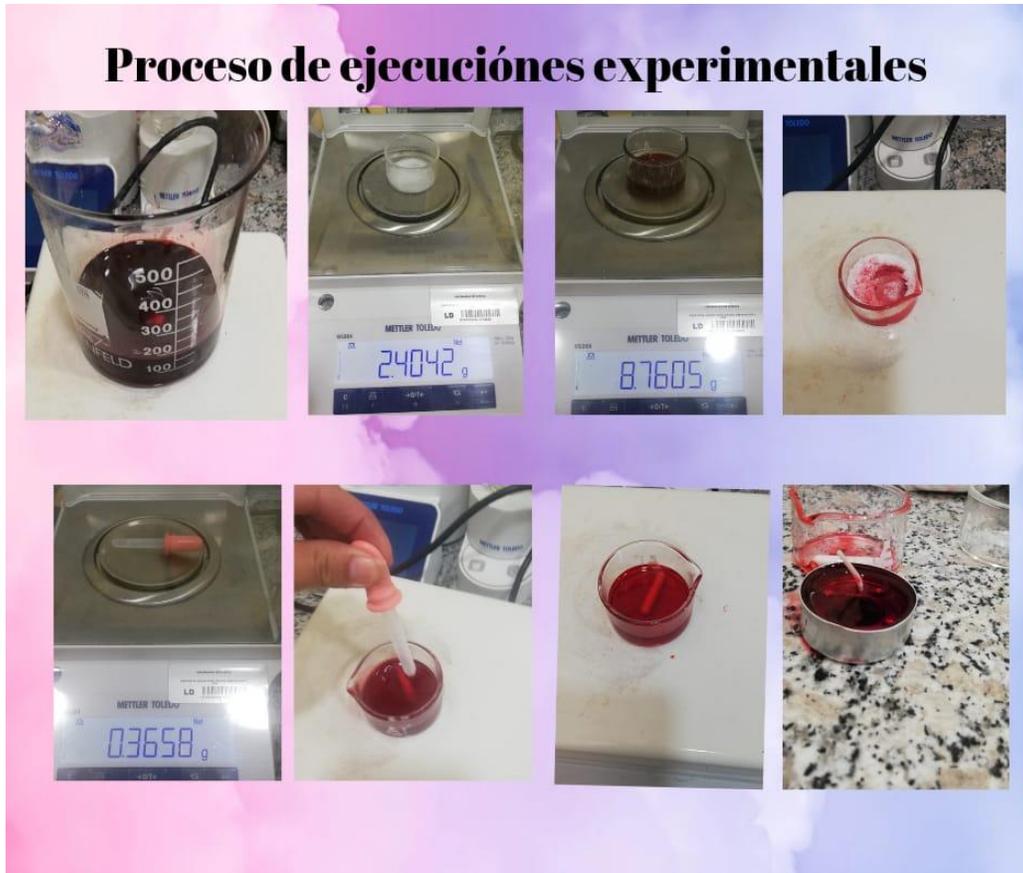


Figura 19 Ejecuciones Experimentales.

Fuente Propia.

Ejecuciones realizadas con sus respectivos duplicados



Figura 20 Ejecuciones terminadas.

Fuente Propia.



Figura 21 Pruebas de quemado. A) Altura de la llama. B) Tiempo de consumo.

Fuente Propia.



Figura 22 Pruebas de quemado. Vela Comercial.

Fuente Propia.



Figura 23 Velas elaboradas.

Fuente Propia