



Fundación Universitaria
SAN MATEO

Técnico profesional en operación de
procesos de producción



Fundación Universitaria
SAN MATEO

Facultad de Ingeniería

Técnico profesional en operación de procesos de producción

**Modelo operativo y de control de calidad para la producción artesanal
de velas sostenibles a base de mezclas vegetales en Bogotá**

Trabajo de grado modalidad de opción de grado

Olga Lucía Mateus Quiroga

Director (a)

Rosa Nathaly Lay de León

Bogotá

2026

Nota de salvedad de responsabilidad institucional

“La Fundación Universitaria San Mateo NO se hace responsable de los conceptos emitidos en el presente documento, el departamento de investigaciones velará por el rigor metodológico de la investigación”.

Contenido

INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	15
1.1 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	15
FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA PROBLEMA	19
1.2 JUSTIFICACIÓN	19
1.3 OBJETIVOS.....	22
<i>Objetivo general</i>	22
<i>Objetivos específicos</i>	22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	23
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
<i>Antecedentes internacionales</i>	23
<i>Antecedentes nacionales</i>	25
2.2 BASES TEÓRICAS O FUNDAMENTOS CONCEPTUALES	26
2.3 BASES LEGALES DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO	29
3.1 ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	30
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	32
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	33
3.5 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	34

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	35
4.1 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO N.º 1	35
<i>Caracterización fisicoquímica y selección de la mezcla óptima.....</i>	<i>35</i>
4.2 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO N.º 2	39
<i>Estandarización mediante el método de la ruta crítica (CPM).....</i>	<i>39</i>
<i>Evaluación de la variabilidad mediante control estadístico de procesos (SPC) e investigación de</i>	
<i>mercados</i>	<i>43</i>
4.3 RESULTADOS DEL OBJETIVO ESPECÍFICO N.º 3	53
<i>Viabilidad financiera y análisis de sensibilidad.....</i>	<i>53</i>
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXOS	61
ANEXO A. FICHA TÉCNICA DE ESTANDARIZACIÓN FISICOQUÍMICA (PROTOTIPO ÓPTIMO)	61
ANEXO B. MANUAL DE PROCEDIMIENTO OPERATIVO ESTÁNDAR (SOP-VAM-02)	62
ANEXO C. HOJA DE INSPECCIÓN DE QUEMADO Y EMISIONES (PR-SPC-03)	62

Índice de ilustraciones

Figura 1. Proceso de elaboración de velas

Figura 2. Distribución de tiempo por actividad

Figura 3. Distribución de la finalidad de uso de las velas (N = 34)

Figura 4. Proporción del lugar de encendido o uso de las velas (N = 34)

Figura 5. Preferencias aromáticas de los consumidores (N = 34)

Figura 6. Disposición de pago por vela artesanal estandarizada (N = 34)

Figura 7. Gráfico de control de medias ($\bar{X}$) para la tasa de consumo (g/h)

Figura 8. Gráfico de control de rangos (R) para la tasa de consumo (g/h)

Figura 9. Precio de venta proyectado vs. rangos del mercado (COP)

Índice de tablas

Tabla 1. Variables asociadas al problema operativo

Tabla 2. Matriz de operacionalización del instrumento (encuesta)

Tabla 3. Matriz de rendimiento técnico de las fórmulas evaluadas

Tabla 4. Matriz de decisión de ingeniería (costo-beneficio)

Tabla 5. Matriz de actividades, precedencias y tiempos del proceso productivo

Tabla 6. Matriz de tiempos tempranos, tardíos y holguras del algoritmo CPM

Tabla 7. Frecuencias de las variables críticas evaluadas

Tabla 8. Análisis de costo unitario de producción (fórmula B vs. parafina vs. soya pura)

Tabla 9. Análisis de sensibilidad por variable

Dedicatoria

A mi esposo,

Quiero dedicar este trabajo a quien me ha acompañado durante este proceso con paciencia, comprensión y apoyo constante. Gracias por estar presente en los momentos de mayor esfuerzo y por motivarme a seguir adelante cuando el camino se hacía difícil.

Este logro también refleja el respaldo y la confianza que siempre me has brindado. Valoro profundamente tu compañía y el ánimo que me diste para alcanzar esta meta.

Con cariño y gratitud, dedico este trabajo a ti.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible el desarrollo y culminación de este proyecto.

En primer lugar, agradezco a mi esposo por su apoyo, comprensión y motivación durante todo este proceso. Su compañía y confianza fueron fundamentales para mantenerme firme en el cumplimiento de esta meta.

A mis cuatro hijas, por ser mi mayor inspiración. Gracias por su paciencia, por comprender el tiempo dedicado a este trabajo y por ser la razón que me impulsa a seguir creciendo personal y profesionalmente.

Expreso mi profundo agradecimiento a la profesora Rosa Nathaly Lay De León, por su orientación, compromiso, conocimientos y acompañamiento académico. Sus enseñanzas y observaciones fueron de gran valor para el desarrollo de esta investigación.

A todos mis profesores, quienes compartieron sus conocimientos, experiencias y enseñanzas a lo largo de mi formación académica, contribuyendo significativamente a mi crecimiento profesional.

A mis compañeros de estudio, por el trabajo colaborativo, el apoyo mutuo y las experiencias compartidas durante este proceso de aprendizaje.

A las instituciones que hicieron posible mi formación y el desarrollo de este proyecto, por brindar los espacios, recursos y herramientas necesarios para fortalecer mis conocimientos y competencias.

Finalmente, agradezco a Dios por darme la fortaleza, la salud y la perseverancia para superar cada desafío y culminar con éxito esta importante etapa de mi vida académica.

Abreviaturas

CCB: Cámara de Comercio de Bogotá.

CIIU: Clasificación Industrial Internacional Uniforme.

COP: Peso colombiano.

CPM: Critical Path Method (Método de la Ruta Crítica).

EPP: Elementos de Protección Personal.

ISO: Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization).

KPI: Indicador Clave de Desempeño (Key Performance Indicator).

LC: Línea Central.

LCI: Límite de Control Inferior.

LCS: Límite de Control Superior.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

SPC: Control Estadístico de Procesos (Statistical Process Control).

UNEP: United Nations Environment Programme (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente).

VOC: Compuestos Orgánicos Volátiles (Volatile Organic Compounds).

Resumen

Este proyecto de grado diseña un modelo operativo y de control de calidad para la producción artesanal de velas sostenibles en Bogotá durante el año 2026, dirigido a mujeres que desempeñan labores del hogar y empleos administrativos. Ante la necesidad de equilibrar la rentabilidad con la responsabilidad ambiental, la investigación sustituye la parafina por mezclas de ceras vegetales de bajo costo. La metodología es de enfoque mixto, predominantemente cuantitativo, y se estructura en tres fases: la caracterización fisicoquímica de fórmulas para seleccionar la mezcla óptima; la estandarización del proceso mediante el Método de la Ruta Crítica (CPM) y el Control Estadístico de Procesos (SPC); y la evaluación de la viabilidad financiera. Los resultados muestran que la Fórmula B (70 % de cera de soya y 30 % de cera de palmiste) reduce en un 30 % el costo de materia prima frente a la soya pura, con un tiempo de ciclo de 99 minutos y un proceso estadísticamente capaz ($C_{pk} = 1,37$). El costo unitario de \$10.990 COP y el precio de venta de \$21.980 COP se ubican dentro de la disposición de pago del mercado (\$15.000 a \$30.000 COP), lo que confirma la viabilidad técnica y financiera del modelo.

Palabras clave: Velas artesanales, Materiales sostenibles, Optimización de procesos, Control de calidad, Insumos económicos.

Abstract

This degree project designs an operational and quality-control model for the artisanal production of sustainable candles in Bogotá during 2026, aimed at women engaged in household and administrative work. Given the need to balance profitability with environmental responsibility, the research replaces paraffin with low-cost vegetable-wax blends. The methodology follows a mixed, predominantly quantitative approach structured in three phases: the physicochemical characterization of formulas to select the optimal blend; process standardization through the Critical Path Method (CPM) and Statistical Process Control (SPC); and the assessment of financial viability. Results show that Formula B (70% soy wax and 30% palm-kernel wax) reduces raw-material cost by 30% compared with pure soy wax, with a 99-minute cycle time and a statistically capable process ($C_{pk} = 1.37$). The unit cost of COP 10,990 and the selling price of COP 21,980 fall within the market's willingness to pay (COP 15,000 to 30,000), confirming the technical and financial viability of the model.

Keywords: Artisanal candles, Sustainable materials, Process optimization, Quality control, Economic inputs.

Introducción

En el contexto urbano de Bogotá, el mercado de productos de bienestar y decoración ha experimentado un auge notable, destacando la demanda de velas aromáticas artesanales como elementos terapéuticos y de ambientación. Sin embargo, la manufactura tradicional de estas industrias locales enfrenta un doble desafío de carácter crítico. Por un lado, la dependencia de la parafina —un derivado del petróleo altamente contaminante que emite hollín y compuestos volátiles dañinos— genera un fuerte impacto ambiental; por otro lado, el costo de las ceras importadas alternativas (como la cera de soya pura) eleva sustancialmente los costos de producción, limitando la competitividad de los pequeños productores. El problema de investigación radica en la falta de un modelo operativo estandarizado y de control de calidad en la sabana de Bogotá que permita producir velas decorativas utilizando mezclas o insumos que sean simultáneamente económicos y de origen ecológico, garantizando parámetros técnicos de combustión eficientes y accesibles para el mercado local.

Para dar respuesta a esta problemática, el propósito fundamental de este proyecto es diseñar un modelo operativo y de control de calidad para la producción artesanal de velas sostenibles en Bogotá, que sustituya el uso de parafina por mezclas de materiales sostenibles y económicos, garantizando la viabilidad financiera y la eficiencia técnica del proceso.

Desde la perspectiva de la disciplina, este estudio aporta una aplicación práctica de la optimización en microempresas y manufacturas artesanales, demostrando que la responsabilidad ecológica no está reñida con la eficiencia de costos. Para el entorno

local, el proyecto dota a los emprendedores y productores de la región de una alternativa técnica estructurada para sustituir la parafina por componentes de menor impacto ambiental sin sacrificar los márgenes de utilidad, dinamizando la economía verde y circular de la capital.

Capítulo I: Descripción del proyecto

1.1 Presentación del problema de investigación

La presente investigación se localiza en Bogotá D.C., epicentro económico y administrativo de Colombia, durante el año 2026. La capital ha experimentado un crecimiento acelerado en la demanda de bienes orientados al bienestar integral (wellness), la salud holística y el diseño de interiores consciente, fenómeno correlacionado con unas dinámicas urbanas en las que el hogar y el espacio de trabajo se consolidan como los núcleos principales de la actividad humana. Esta reorientación de la vida hacia los ambientes interiores es relevante porque la calidad del aire de estos espacios se ha convertido en un determinante crítico de la salud, dado que las poblaciones de las sociedades industrializadas pasan la mayor parte de su tiempo en entornos cerrados influidos por actividades de combustión (Maung et al., 2022).

La industria de la cerería ha evolucionado en función de la disponibilidad de materias primas. Durante siglos la producción dependió del sebo animal y la cera de abejas, pero con la refinación del petróleo en el siglo XIX se introdujo masivamente la parafina, un hidrocarburo sólido que se consolidó por su bajo costo, su facilidad de almacenamiento y su capacidad para retener fragancias sintéticas. Como subproducto de la refinación del petróleo, la parafina libera durante su combustión hollín y compuestos orgánicos volátiles que las ceras vegetales, renovables y biodegradables, no generan en la misma proporción (Rezaei et al., 2002). Esta herencia ha provocado que la matriz comercial de velas en Bogotá continúe dominada por manufacturas de parafina, cuyas externalidades negativas permanecen invisibilizadas.

En el plano económico y social, el foco de este estudio se delimita en un nicho poblacional con necesidades críticas no resueltas: las mujeres que desempeñan labores

del hogar y aquellas que ejercen empleos administrativos en Bogotá. Estas mujeres representan un motor socioeconómico vital para la ciudad, pero están sometidas a condiciones ambientales muy particulares. Este segmento pasa jornadas continuas de entre 8 y 12 horas diarias en interiores —viviendas urbanas o cubículos de oficina— que suelen caracterizarse por ventilación deficiente, iluminación artificial constante y una alta carga psicosocial. La exposición prolongada a los contaminantes generados en estos ambientes es especialmente crítica para los grupos vulnerables, entre quienes se asocia con efectos respiratorios y cardiovasculares adversos (Maung et al., 2022).

El fenómeno detectado en el contexto real, y vivenciado directamente por la investigadora y la población objeto, es la existencia de una paradoja de consumo: las mujeres administrativas y del hogar adquieren activamente velas aromáticas comerciales en grandes superficies de Bogotá buscando un mecanismo de relajación y evasión frente al estrés crónico y la fatiga mental. Sin embargo, debido a los vacíos de información técnica y a la falta de etiquetado transparente, desconocen que introducen una fuente de contaminación en sus microentornos. La evidencia científica documenta que la combustión de velas eleva las concentraciones de material particulado (PM) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en interiores, con frecuencia por encima de los umbrales regulatorios (Yun et al., 2025). El material particulado y los COV son los principales contaminantes del aire interior y se han asociado con efectos respiratorios y cardiovasculares adversos, especialmente en grupos vulnerables que permanecen tiempos prolongados en espacios cerrados (Maung et al., 2022). Esta exposición agrava de manera silenciosa su salud física.

La dificultad central que este proyecto aborda se divide en una dimensión teórica y una práctica, lo cual fundamenta su aporte directo a la Ingeniería Industrial. En la literatura existe un amplio corpus teórico sobre aromaterapia botánica, sostenibilidad ambiental y toxicología de los hidrocarburos. No obstante, se evidencia una brecha en las investigaciones aplicadas que demuestren cómo transformar un proceso de manufactura empírico y artesanal en un sistema operativo optimizado, eficiente en costos y estandarizado bajo parámetros científicos.

La mayoría de las unidades productivas de velas ecológicas en la Sabana de Bogotá operan bajo esquemas informales de ensayo y error. Esto se traduce en una alta tasa de mermas, fluctuaciones críticas en los puntos de fusión, problemas de cristalización de la cera de soja y un desperdicio considerable de aceites esenciales por volatilización prematura durante el vertido. El control estadístico de procesos (SPC) ha demostrado ser un método eficaz para detectar y prevenir tempranamente este tipo de variabilidad, con ventajas frente a la mera inspección del producto terminado (Madanhire & Mbohwa, 2016). Al carecer de estandarización, los costos de producción de las velas vegetales se elevan y obligan a los productores artesanales a fijar precios de venta altos. La literatura de ingeniería muestra que el control estadístico de procesos (SPC) ofrece una ventaja frente a la mera inspección del producto final, al enfatizar la detección temprana y la prevención de defectos y al mejorar simultáneamente la calidad y la efectividad de costos (Madanhire & Mbohwa, 2016).

Aquí radica la brecha que este proyecto pretende aclarar: ¿Cómo hacer que un producto eco-amigable y terapéutico deje de ser un artículo de lujo suntuario y se transforme en un bien de consumo masivo y accesible para las mujeres trabajadoras? La Ingeniería Industrial interviene en esta dificultad mediante la transferencia de

metodologías de control de procesos, modelamiento de tiempos y diseño de experimentos, demostrando que la producción limpia no está reñida con la rentabilidad financiera.

Tabla 1. Variables asociadas al problema operativo

Variables asociadas al problema operativo	
Origen:	Dependencia fósil (Parafina) y bajos costos.
Mantenimiento:	Altos costos de ceras eco e informalidad.
Involucradas:	Tiempos de ciclo, temperatura, estrés, calidad del aire, capacidad adquisitiva.
Estrategia:	Modelado CPM (15 actividades) + Control SPC.

Ampliando la Tabla 1, se aislaron e interrelacionaron las siguientes variables de ingeniería y contexto según su papel en el problema:

Variables que originaron el problema: el monopolio técnico-económico de la parafina industrial como materia prima dominante, justificado por su bajo costo de adquisición y su estabilidad física para retener esencias sintéticas de bajo costo.

Variables que mantuvieron el problema: la inflación de costos en la importación de ceras vegetales puras (soja, coco), la ausencia de normativas estrictas de calidad del aire interior en hogares/oficinas de Bogotá respecto al encendido de ceras fósiles, y la persistencia de métodos de fabricación empíricos sin control de variables técnicas.

Variables que se involucraron en el problema: el tiempo de ciclo de la manufactura artesanal, el costo directo de los insumos ecológicos, el volumen de emisiones contaminantes (hollín y COV), cuya magnitud y perfil varían según la composición de la cera y las condiciones de combustión (Crunkelton et al., 2026); la tasa de quemado (combustión lineal); el nivel de fatiga mental o estrés de la población consumidora y el poder adquisitivo real de las mujeres administrativas y del hogar en Bogotá.

Estrategias de la intervención (La solución propuesta): la reingeniería del proceso productivo mediante el Método de la Ruta Crítica (CPM) para la secuencia óptima de las 15 actividades de manufactura, reduciendo tiempos muertos y costos operativos, ligada a la implementación de gráficos de control por variables mediante Control Estadístico de Procesos (SPC) para estandarizar la curva térmica de fusión y asegurar un producto final homogéneo de combustión limpia.

Formulación de la pregunta problema

¿De qué manera es posible diseñar un modelo operativo y de control de calidad para la producción artesanal de velas sostenibles en Bogotá, que sustituya el uso de parafina por mezclas de materiales sostenibles y económicos, garantizando la viabilidad financiera y la eficiencia técnica del proceso?

1.2 Justificación

La pertinencia y necesidad de ejecutar este proyecto de investigación se sostienen firmemente sobre un entramado de razones teóricas, técnicas, ambientales y económicas.

Desde la dimensión teórica, esta investigación desafía el paradigma económico tradicional que dicta que la sustitución ecológica de materias primas necesariamente destruye el margen de utilidad en economías de escala menor. Al caracterizar las propiedades fisicoquímicas de mezclas alternativas de bajo costo —como combinaciones óptimas de ceras vegetales regionales—, el estudio genera un marco de referencia aplicable a la manufactura local. Sobre esa base teórica se articulan las

razones ambientales, económicas y técnicas que sustentan el proyecto en el contexto de Bogotá.

En el plano ambiental, la ciudad requiere proyectos productivos alineados con los objetivos de desarrollo sostenible que mitiguen el impacto ambiental y reduzcan la huella de carbono doméstica frente al uso masivo de derivados del petróleo.

A esta dimensión ambiental se suma la económica: las fluctuaciones de precios y los costos de importación de insumos puros obligan a la ingeniería a formular alternativas de manufactura de bajo costo que democratizen el acceso a materias primas ecológicas y eviten que los productos sostenibles se conviertan en artículos de lujo suntuario.

Por último, en el plano operativo y técnico, el proyecto introduce herramientas formales de control de ingeniería en un sector que históricamente se ha manejado de forma empírica: modelar las variables de combustión, estandarizar las operaciones mediante diagramas de procesos y optimizar la cadena de suministro permite asegurar que el producto final sea competitivo en calidad, duración y precio en el mercado regional.

Metodológicamente, el valor del proyecto reside en la creación de una ruta de transferencia tecnológica para el sector artesanal de Bogotá. Aplicar algoritmos de redes como CPM para mapear y optimizar 15 actividades de manufactura manual, y estructurar hojas de inspección estadístico-variables (SPC) para medir la estabilidad de una llama, dota a la disciplina de la Ingeniería Industrial de herramientas didácticas y replicables para microempresas y emprendimientos de la economía verde.

En las dimensiones técnica, práctica y social, la justificación se vincula orgánicamente con las necesidades del grupo social seleccionado: las mujeres dedicadas a labores administrativas y del hogar. En el marco de la salud ocupacional y la ergonomía ambiental, la exposición prolongada a ambientes cerrados expone a estas mujeres al "Síndrome del Edificio Enfermo". Los dolores de cabeza recurrentes, la irritación de mucosas y el letargo son frecuentemente catalizados por la combustión de velas comerciales de parafina, las cuales liberan hidrocarburos aromáticos policíclicos, benceno y tolueno al quemarse.

Este proyecto aporta a esa problemática de salud pública urbana. La vela artesanal ecológica formulada en este estudio se concibe como una alternativa de menor impacto frente a la parafina, con un propósito que trasciende lo ornamental. Al sustituir el hidrocarburo fósil por una mezcla vegetal de combustión estable y homogénea —verificada mediante control estadístico de procesos—, se busca reducir la exposición de las usuarias a las emisiones asociadas a las velas comerciales en sus hogares y puestos de trabajo. De manera complementaria, la incorporación de aceite esencial de lavanda pura responde a la preferencia por aromas relajantes identificada en el estudio de mercado y se apoya en la literatura sobre aromaterapia como posible coadyuvante frente al estrés cotidiano.

Finalmente, la viabilidad del proyecto se consolidó gracias al análisis de la vulnerabilidad operativa de los pequeños talleres manufactureros de Bogotá, los cuales ofrecieron la opción de modelar sus procesos reales. Al optimizar los costos de fabricación mediante la ingeniería de métodos, el producto resultante reduce significativamente su precio final de venta. Esto genera un beneficio directo para el grupo social estudiado, pues acerca un producto de bienestar a un rango de precio

acorde con su disposición de pago (\$15.000 a \$30.000 COP) y evita que las alternativas sostenibles queden reservadas a un segmento de lujo.

1.3 Objetivos

Objetivo general

Diseñar un modelo operativo y de control de calidad para la producción artesanal de velas sostenibles en Bogotá, que sustituya el uso de parafina por mezclas de materiales sostenibles y económicos, garantizando la viabilidad financiera y la eficiencia técnica del proceso para el bienestar de mujeres que desempeñan labores del hogar y empleos administrativos.

Objetivos específicos

- Caracterizar experimentalmente las propiedades fisicoquímicas —combustión, estabilidad térmica y retención aromática— de fórmulas de ceras vegetales y aceites esenciales, para seleccionar la mezcla óptima en calidad y costo.
- Estandarizar y controlar el proceso de manufactura mediante el Método de la Ruta Crítica (CPM) para optimizar el tiempo de ciclo, y el Control Estadístico de Procesos (SPC) para asegurar un quemado estable y una tasa de consumo dentro de los parámetros de calidad especificados.
- Determinar la viabilidad financiera del modelo mediante un análisis de costos unitarios y de sensibilidad, comparando la mezcla sostenible con las alternativas comerciales de parafina para validar su competitividad y accesibilidad en el mercado de Bogotá.

Capítulo II: Marco teórico

2.1 Antecedentes de la investigación

La revisión de antecedentes permite situar este proyecto dentro de la literatura reciente sobre producción de velas sostenibles, calidad del aire interior y estandarización de procesos de manufactura artesanal. A continuación se sintetizan los estudios más relevantes, organizados en antecedentes internacionales y nacionales, señalando su aporte específico a la presente investigación.

Antecedentes internacionales

En el plano internacional, la comparación entre ceras vegetales y parafina cuenta con evidencia experimental consolidada. Rezaei et al. (2002), en la Universidad Estatal de Iowa (Estados Unidos), evaluaron la combustión de velas de aceite de soya hidrogenado frente a referencias de parafina y abeja, y encontraron que las velas de soya producen poco o nada de hollín y arden a menor velocidad, mientras que la parafina genera cantidades apreciables de hollín y trazas de formaldehído. Este hallazgo respalda la decisión de sustituir la parafina por mezclas vegetales como eje del presente proyecto.

Más recientemente, Crunkelton et al. (2026), en un estudio publicado en la revista *Atmosphere* (Estados Unidos), caracterizaron las emisiones de velas sintéticas y naturales en un ambiente residencial y demostraron que el perfil de material particulado y de compuestos orgánicos volátiles depende de la composición de la cera y de las condiciones de combustión. Esta investigación fundamenta la necesidad de controlar

técnicamente la formulación y el quemado, tal como se aborda en el presente trabajo mediante el control estadístico de procesos.

En la misma línea, Yun et al. (2025), en Corea del Sur, midieron el impacto del uso de velas aromáticas sobre la calidad del aire interior y evidenciaron que su combustión eleva las concentraciones de material particulado, con frecuencia por encima de los umbrales regulatorios. Sus resultados aportan el sustento epidemiológico para justificar la transición hacia velas de combustión más limpia en espacios cerrados como oficinas y hogares.

Desde una perspectiva de salud pública, Maung et al. (2022), en una revisión sistemática de la Universidad de Birmingham (Reino Unido), identificaron el material particulado y los compuestos orgánicos volátiles como los principales contaminantes del aire interior y advirtieron sobre sus efectos respiratorios y cardiovasculares, en especial en grupos vulnerables que permanecen tiempos prolongados en espacios cerrados. Este antecedente refuerza la pertinencia social de dirigir el producto a mujeres que trabajan en el hogar y en oficinas.

En el ámbito de la ingeniería de procesos, Madanhire y Mbohwa (2016), en un estudio de procedía CIRP realizado en un país en desarrollo, demostraron que la aplicación del control estadístico de procesos (SPC) en la manufactura permite detectar y prevenir tempranamente la variabilidad, con ventajas frente a la simple inspección del producto terminado. Este trabajo orienta metodológicamente el uso del SPC para estandarizar la combustión de la vela en el presente proyecto.

Finalmente, Taha (2017) sistematiza el Método de la Ruta Crítica como técnica de investigación de operaciones para modelar actividades interdependientes y minimizar

la duración total de un proceso; su planteamiento fundamenta el modelado de tiempos y la secuenciación de las actividades de manufactura que se aplica en el taller piloto de Bogotá.

Antecedentes nacionales

En cuanto a la evidencia sobre emisiones, Derudi et al. (2012), del Politécnico de Milán (Italia), cuantificaron en una cámara de ensayo los factores de emisión de compuestos aromáticos (benceno, tolueno) e hidrocarburos aromáticos policíclicos de velas de parafina, y hallaron que la calidad de la cera influye de manera determinante en la magnitud de los contaminantes liberados. Este estudio aporta el sustento técnico que motiva la sustitución de la parafina por mezclas vegetales de combustión más limpia.

Por su parte, la Institución Universitaria Antonio José Camacho (2023), en un plan de negocio para una empresa de velas ecológicas esenciales (Velas Popurrí), integró estudios de mercado, técnico y financiero y concluyó que la producción de velas de cera vegetal es financieramente viable como sustituto no contaminante de la parafina. Este antecedente respalda la necesidad de optimizar costos mediante herramientas de ingeniería como el método de la ruta crítica (CPM) para asegurar la competitividad del producto.

En el terreno del diseño de producto, Gómez Cuervo y Aguilar Tovar (2023), en la revista Ingenio Magno de la Universidad Santo Tomás, aplicaron la metodología de Design Thinking al diseño de velas aromáticas a base de cera de soya y sistematizaron el proceso productivo, desde la selección de materiales hasta el prototipo final. Su enfoque respalda la estructuración de fichas técnicas y diagramas de proceso empleados en este proyecto.

Desde la perspectiva del emprendimiento, Acevedo (2020), en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), analizó estrategias de diferenciación e innovación en emprendimientos de velas y destacó la sostenibilidad, la personalización de aromas y el uso de insumos naturales como factores clave de competitividad. Este antecedente aporta criterios de mercado para orientar los atributos del producto hacia el segmento objetivo.

Finalmente, Benavides (2019), también en la UNAD, formuló un plan para la creación de una microempresa de fabricación de velas y velones con énfasis en producción limpia y métodos sostenibles, aportando referencias sobre la estructura de costos y la organización operativa de un taller artesanal en Colombia. En conjunto, estos antecedentes nacionales confirman el interés creciente por las velas sostenibles en el país y evidencian el vacío en la estandarización técnica del proceso que esta investigación busca cubrir.

2.2 Bases teóricas o fundamentos conceptuales

Enfoques teóricos de ingeniería y ergonomía ambiental

Esta investigación se fundamenta en tres cuerpos teóricos complementarios: la gestión de operaciones, el control estadístico de la calidad y la salud ocupacional aplicada a la calidad del aire interior. Desde la gestión de operaciones, Chase et al. (2018) sostienen que la productividad de cualquier sistema de manufactura —incluso a escala artesanal— depende de la eliminación sistemática del desperdicio y de la estandarización de los métodos de trabajo; sobre esta base se justifica el modelado del proceso mediante el Método de la Ruta Crítica. El control estadístico de la calidad, formalizado por Montgomery (2020), aporta el marco para distinguir la variación por

causas comunes de la generada por causas asignables y, con ello, mantener el proceso dentro de límites predecibles. Finalmente, desde la salud ocupacional, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2010) documenta que la exposición prolongada a contaminantes en espacios interiores deteriora el bienestar y el rendimiento de los ocupantes, fenómeno asociado al denominado Síndrome del Edificio Enfermo; este enfoque vincula la calidad del aire con la salud de las mujeres que trabajan en el hogar y en oficinas, población objetivo del proyecto.

Definición de variables y conceptos técnicos

Las materias primas empleadas determinan tanto la calidad de la combustión como el impacto ambiental del producto. La cera de soja es un material lipídico de origen vegetal, renovable y biodegradable, obtenido por hidrogenación del aceite de soja, con un punto de fusión relativamente bajo (aproximadamente 48 a 54 °C) que favorece una combustión lenta y estable. La evidencia experimental de Rezaei et al. (2002) confirma que las velas de cera de soja producen poco o nada de hollín, a diferencia de la parafina. La cera de palmiste, también de origen vegetal, se incorpora en la mezcla para elevar el punto de fusión y mejorar la dureza y la estabilidad térmica del producto final.

En contraste, la parafina es un hidrocarburo derivado de la refinación del petróleo. Su amplia difusión comercial se explica por su bajo costo y su capacidad para retener fragancias, pero su combustión libera hollín y compuestos orgánicos volátiles cuya magnitud depende de la composición y de las condiciones de quemado (Crunkelton et al., 2026). Esta diferencia en el perfil de emisiones constituye el fundamento técnico para sustituir la parafina por mezclas vegetales en la formulación propuesta.

En cuanto a las herramientas de ingeniería, el control estadístico de procesos (SPC) es un conjunto de técnicas que permite monitorear la variabilidad de un proceso mediante gráficos de control y evaluar su capacidad para cumplir especificaciones (Montgomery, 2020). En este proyecto se aplica a variables continuas como la tasa de consumo y la temperatura de vertido, con el fin de asegurar un desempeño homogéneo y predecible del producto.

Por su parte, el Método de la Ruta Crítica (CPM) es una técnica de planeación y programación de proyectos que modela actividades interdependientes para identificar la secuencia que determina la duración mínima total del proceso (Taha, 2017; Chase et al., 2018). Su aplicación a las quince actividades de la manufactura de velas permite optimizar el tiempo de ciclo y reconocer las holguras aprovechables para eliminar tiempos muertos.

2.3 Bases legales de la investigación

La viabilidad legal del proyecto se sustenta en tres marcos normativos colombianos que regulan, respectivamente, la seguridad y salud en el trabajo, la protección ambiental y la protección al consumidor. En conjunto, estas normas respaldan tanto la pertinencia de sustituir la parafina por insumos vegetales como las exigencias de información y etiquetado del producto final.

En materia de seguridad y salud en el trabajo, la Resolución 2400 de 1979 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social establece las disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo, y obliga al empleador a proveer y mantener el ambiente ocupacional en condiciones adecuadas de higiene y seguridad (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979). Este marco respalda la necesidad de

sustituir materias primas contaminantes por insumos de combustión limpia, de modo que tanto los puestos de trabajo de las mujeres administrativas como los hogares donde se desempeñan las labores domésticas mantengan una calidad de aire segura.

En el ámbito ambiental, el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, compila la normativa que exige a las actividades productivas mitigar sus impactos atmosféricos y gestionar adecuadamente sus residuos (Presidencia de la República de Colombia, 2015). Este decreto ofrece el sustento jurídico para reemplazar la parafina de origen fósil por ceras vegetales, en coherencia con las metas de reducción de la huella de carbono en el Distrito Capital.

Por último, en cuanto a la protección al consumidor, la Ley 1480 de 2011, o Estatuto del Consumidor, obliga a los productores a suministrar información clara, veraz y suficiente sobre las propiedades de los bienes, y exige que los productos que por su naturaleza o componentes puedan resultar nocivos indiquen tal condición y sus instrucciones de uso seguro (Congreso de la República de Colombia, 2011, arts. 24 y 25). Esta norma fundamenta las exigencias de etiquetado y de información técnica de las velas, garantizando que las consumidoras reciban de forma transparente las especificaciones del producto y las instrucciones seguras de quemado.

Capítulo III: Diseño metodológico

El desarrollo metodológico de este proyecto de grado se enfoca en evaluar la viabilidad técnica y la aceptación en el mercado de un prototipo de vela artesanal sostenible. A continuación, se detallan los aspectos operativos, el enfoque y las técnicas utilizadas para la recolección y análisis de la información.

3.1 Enfoque y tipo de investigación

La investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto (predominantemente cuantitativo con complementariedad cualitativa). Es cuantitativa en la medida en que utiliza datos numéricos y estadísticos para analizar los hábitos de consumo, frecuencias, presupuestos de los usuarios y variables de control operativo mediante escalas cerradas y registros métricos. Asimismo, incorpora un matiz cualitativo orientado a evaluar las percepciones, motivaciones de uso y la valoración subjetiva del bienestar asociada a la regulación emocional y la aromaterapia.

Atendiendo a su propósito y alcance, el estudio se define como descriptivo, transversal, experimental y propositivo, estructurado a través de las siguientes dimensiones operativas:

- Alcance Descriptivo y Transversal: el estudio es descriptivo debido a que busca caracterizar el perfil del consumidor potencial e identificar las variables críticas de decisión de compra (aroma, precio y presentación). Es transversal toda vez que la recolección de datos mediante el instrumento de encuesta se ejecuta en un único momento temporal.
- Componentes de Optimización y Control Operativo: el diseño se articula en tres ejes fundamentales para la gestión de operaciones y el desarrollo de mercado:
- Métodos de Optimización Operativa: se emplea el Método de la Ruta Crítica (CPM) para la secuenciación, análisis y reducción de tiempos de ciclo en las 15 actividades principales que integran la cadena de manufactura de las velas de cera de soja (desde el fundido inicial de la materia prima vegetal

hasta el empaque y etiquetado final). Esta optimización matemática responde directamente al atributo crítico del precio y a la disposición de pago identificada en el estudio de mercado, permitiendo disminuir costos operativos para ofrecer un producto final económicamente competitivo en Bogotá.

- Técnicas de Control de Calidad y Validación de Mercado: se utiliza el Control Estadístico de Procesos (SPC) a través de gráficos de control por variables, midiendo rigurosamente el rendimiento técnico del encendido (tiempo de combustión, estabilidad de la llama y tasa de consumo de la mezcla ecológica). Paralelamente, se implementa una investigación de mercados por encuesta para evaluar las variables de consumo de la población objetivo, alineando los estándares de calidad del taller con las demandas reales de las usuarias en cuanto a atributos críticos de compra y la finalidad de uso terapéutico.
- Instrumentos y Herramientas: para la recolección de datos y la experimentación en campo, se utiliza una triangulación de herramientas técnicas y sociales que comprende:
 - Fichas técnicas de control de laboratorio y hojas de registro para el test de quemado (Burn Test).
 - Instrumentos físicos de ingeniería, tales como cronómetros digitales para el estudio de tiempos y movimientos, y termopares digitales acoplados para el control exacto de los puntos de fusión e inyección aromática.
 - Formulario digital estructurado compuesto por reactivos cerrados (nominales, ordinales y de opción múltiple) aplicado a la muestra

seleccionada en Bogotá para la caracterización demográfica, hábitos de consumo y validación del bienestar.

- Software de procesamiento de datos y herramientas estadísticas para la simulación del comportamiento del proceso productivo (SPC) y la tabulación de los resultados del mercado.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño metodológico se articula bajo un esquema no experimental (de campo) combinado con una fase experimental (laboratorio/piloto):

- Componente de Campo: consiste en la aplicación de un cuestionario estructurado de manera virtual para levantar las necesidades del contexto real y validar la demanda y aceptación del producto.
- Componente Experimental: (Soportado por el Instrumento 1 de Control de Lote), donde se manipulan variables de proceso (temperaturas de fusión, inyección y vertido) para estandarizar la calidad física del prototipo.

3.3 Población y muestra

- Población: consumidores potenciales de velas aromáticas, con especial énfasis en mujeres dedicadas a labores administrativas y del hogar, expuestas a jornadas en espacios cerrados.
- El muestreo es no probabilístico por conveniencia o intencional, seleccionando a los participantes bajo criterios de accesibilidad y cumplimiento del perfil ocupacional objetivo. La muestra está compuesta por 34 evaluadores. Dado el tamaño de la muestra ($n = 34$) y

la naturaleza no probabilística del muestreo, los resultados obtenidos tienen un carácter exploratorio y no son generalizables a la totalidad de la población objetivo; sin embargo, brindan información válida y representativa para el alcance de este estudio técnico.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para dar respuesta a los objetivos específicos, se diseñó e implementó el Instrumento 3: cuestionario de Aceptación Sensorial y de Mercado. Este instrumento se estructuró mediante la herramienta Google Forms y se compone de 13 reactivos organizados en cuatro bloques funcionales, detallados a continuación:

Tabla 2. Matriz de operacionalización del instrumento (encuesta)

Bloque Funcional	Ítems / Preguntas Asociadas	Variables Indicadores Medidos	Objetivo del Bloque
I. Perfil Demográfico y Ocupacional	• Género • Edad • ¿Cuál es su ocupación?	• Género • Rango etario • Segmentación socio-laboral	Caracterizar la muestra e identificar si pertenecen al nicho prioritario (administrativas/hogar).
II. Hábitos de Consumo y Frecuencia	• ¿Has comprado velas artesanales antes? • ¿Con qué frecuencia las usas? • ¿Dónde recuerda haber visto la venta?	• Experiencia previa • Tasa de uso de producto • Canales de distribución (Plaza)	Determinar la madurez del consumidor y mapear los canales logísticos y comerciales más visibles.
III. Comportamiento y Decisión de Compra	• ¿Qué es lo primero que observa al comprar? • ¿Cuánto sería su máximo a pagar? • Reconocimiento de marcas (Olfabrand, etc.)	• Atributo crítico (Precio/Aroma) • Elasticidad de precio (COP) • Posicionamiento de la competencia	Definir los requisitos de diseño del producto (costo-objetivo y atributos de calidad más valorados).

Bloque Funcional	Ítems / Preguntas Asociadas	Variables Indicadores Medidos	Objetivo del Bloque
IV. Validación de Propuesta de Valor (Ergonomía/Bienestar)	• ¿Conoces la aromaterapia? • ¿Te gustaría usarlas en tus actividades? • ¿Es importante mantener espacios con aromas? • ¿Con qué finalidad las usarías? • ¿Consideras que te ayudan a regular emociones?	• Grado de conocimiento técnico • Disposición de adopción • Intencionalidad de uso • Percepción de salud y relajación	Validar el impacto de la vela como herramienta de ergonomía ambiental y bienestar emocional.

3.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos

Una vez finalizada la recolección, los datos se descargan en formato plano para su procesamiento mediante estadística descriptiva:

- Variables Categóricas (Nominales/Ordinales): se analizarán mediante tablas de frecuencias absolutas y porcentuales, representadas gráficamente en diagramas de barras y de sectores (pasteles).

Capítulo IV: Resultados de la investigación

4.1 Resultados del objetivo específico n.º 1

Caracterización fisicoquímica y selección de la mezcla óptima

Para el logro del primer objetivo específico, se ejecutó una fase de caracterización fisicoquímica experimental en laboratorio mediante la formulación y evaluación empírica de tres prototipos base (Fórmulas A, B y C) utilizando mezclas de ceras sostenibles. Este proceso contempló la ejecución sistemática de Pruebas de Quemado (Burn Tests) bajo condiciones ambientales controladas en Bogotá, evaluando de forma rigurosa tres variables críticas del proceso: estabilidad térmica durante la fusión y vertido, capacidad de retención y difusión del aroma, y tasa de combustión lineal (g/h) para determinar la eficiencia técnica del reemplazo de la parafina.

El proceso experimental se desarrolló en el taller piloto de Bogotá, evaluando tres formulaciones de mezclas sustentables diseñadas para reducir el impacto económico de la cera de soya pura importada (insumo de alto costo), combinándola de forma estratégica con cera de palmiste local y aceites esenciales puros de Lavanda (*Lavandula angustifolia*) con fines terapéuticos para la población de mujeres administrativas y del hogar.

Las formulaciones evaluadas en el laboratorio fueron:

- Fórmula A (Control): 100% Cera de Soya + 10% Inyección Aromática.
- Fórmula B (Híbrida Económica): 70% Cera de Soya + 30% Cera de Palmiste Local + 10% Inyección Aromática.
- Fórmula C (Ecológica de Bajo Costo): 50% Cera de Soya + 50% Cera de Palmiste Local + 8% Inyección Aromática.

Figura 1. Proceso de elaboración de velas



Constatación de Datos Experimentales (Frecuencias y Análisis Térmico)

Se realizaron 15 réplicas de ensayo para cada mezcla bajo condiciones ambientales controladas en Bogotá (temperatura promedio de 18 °C y sin corrientes de aire).

Derudi, M., Gelosa, S., Sliepceovich, A., Cattaneo, A., Rota, R., Cavallo, D., & Nano, G. (2012). Emissions of air pollutants from scented candles burning in a test chamber. *Atmospheric Environment*, 55, 257–262. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.03.027>

Para evaluar la estabilidad de la llama, se utilizó una rúbrica de observación visual de 1 a 5 puntos (donde 1 es parpadeo constante/humo y 5 es una llama fija y limpia). La retención aromática (Hot Throw) se midió mediante una escala hedónica de percepción sensorial con un panel de evaluación, midiendo el porcentaje de intensidad del aroma percibido a 2 metros de distancia tras 1 hora de combustión. Los costos por kilogramo se

calcularon con base en las cotizaciones de proveedores locales de insumos para cerería en Bogotá (Distribuidora San Jorge, 2024).

Tabla 3. Matriz de rendimiento técnico de las fórmulas evaluadas

Variable de Ingeniería / Parámetro	Fórmula A (Soya 100%)	Fórmula B (Soya 70% / Palmiste 30%)	Fórmula C (Soya 50% / Palmiste 50%)
Punto de Fusión Promedio (°C)	49,2±0,5 °C	51,5±0,4 °C	54,8±0,6 °C
Temperatura de Vertido Óptima (°C)	55,0±1,0 °C	58,0±0,8 °C	62,0±1,2 °C
Tasa de Consumo Lineal (g/h)	4,1±0,2 g/h	3,5±0,2 g/h	2,8±0,3 g/h
Estabilidad de la Llama (Escala 1-5)	4,8±0,2 (Alta)	4,6±0,3 (Alta)	3,2±0,5 (Parpadeo)
Retención Aromática (Hot Throw)	92±3% (Excelente)	88±4% (Muy Buena)	65±6% (Atenuada)
Costo por Kilogramo de Mezcla (COP)	\$38.000	\$26.600	\$19.000

Como se observa en la Tabla, las diferencias entre las tres mezclas son claras y constantes a lo largo de las 15 pruebas:

- Mayor duración y resistencia al calor: agregar cera de palmiste subió el punto de fusión de 49,2 °C (Fórmula A) a 51,5 °C (Fórmula B). Esto evita que la vela "sude" o se derrita sola con los cambios de clima en Bogotá, y hace que se queme más despacio (3,5 g/h vs. 4,1 g/h), logrando que la vela dure más tiempo encendida.
- Equilibrio en calidad: aunque la Fórmula C es la más barata, la llama parpadea mucho (3,2) y pierde bastante aroma (65%). Por eso, la Fórmula B es la opción más equilibrada: mantiene una llama firme (4,6), buena difusión del aroma (88%) y reduce el costo de producción en un 30% respecto a la cera de soya pura (Distribuidora San Jorge, 2024).

Representación Gráfica de las Variables Críticas

Para justificar la decisión de ingeniería sobre la fórmula óptima, se contrastan el Costo de Producción por kg frente a la Retención Aromática (Eficiencia del Bienestar), demostrando gráficamente la viabilidad del modelo por atributo.

Para facilitar la lectura y comparación de las alternativas, se estructuró la siguiente matriz de decisión basada en los vectores de costo-beneficio observados en la gráfica:

Tabla 4. Matriz de decisión de ingeniería (costo-beneficio)

Alternativa Evaluada	Ventaja Competitiva	Restricción Técnica / Financiera	Decisión de Ingeniería
Fórmula A (Soya 100%)	Máxima retención aromática 92% y combustión limpia.	Costo inviable (\$38.000 COP/kg). Convierte la vela ecológica en un bien suntuario fuera del presupuesto objetivo.	Rechazada (Por costo elevado)
Fórmula B (Soya 70% / Palmiste 30%)	Equilibrio óptimo. Reduce los costos un 30% (\$26.600 COP/kg) y mantiene un 88% de retención del aroma.	Requiere un control térmico estricto de vertido 58° C para evitar imperfecciones superficiales.	Seleccionada (Fórmula Patrón)
Fórmula C (Soya 50% / Palmiste 50%)	Máxima economía en adquisición de insumos (\$19.000 COP/kg).	Fallas de calidad críticas. Presentó contracción física (rechupe), parpadeo en la llama y baja dispersión del aroma (65%)	Rechazada (Por baja calidad)

Al analizar la correlación de datos, la Fórmula C, a pesar de ser la más económica (\$19.000 COP/kg), presentó problemas severos de cristalización física, un Hot Throw (dispersión del aroma en caliente) deficiente (65%) y parpadeo constante en la llama debido a la alta densidad del palmiste. Por el contrario, la Fórmula B ofrece un ahorro

económico del 30% en costos de materia prima en comparación con la cera de soya pura (Fórmula A), manteniendo una retención aromática del 88% y una combustión limpia y estable, libre de hollín.

Como resultado e insumo final (documento gris de ingeniería) derivado del Objetivo No. 1, se estructuró la Ficha Técnica de Manufactura que gobernará el proceso productivo optimizado por CPM en las fases posteriores del proyecto. La ficha técnica de estandarización fisicoquímica del prototipo óptimo se presenta en el Anexo A.

La contrastación metodológica y la curaduría de datos evidenciaron que la Fórmula B es la única alternativa capaz de democratizar el acceso a productos de bienestar premium para las mujeres administrativas y del hogar en Bogotá, garantizando un precio final competitivo (alineado con la disposición de pago de 15.000 a 30.000 COP hallada en el estudio de mercado) sin comprometer la salud respiratoria del consumidor ni el margen operacional de la cerería artesanal. Este entregable técnico se consolida como la base empírica para alimentar las redes de optimización del tiempo de ciclo mediante el Método de la Ruta Crítica (CPM) en el siguiente apartado del capítulo.

4.2 Resultados del objetivo específico n.º 2

Estandarización mediante el método de la ruta crítica (CPM)

Para la obtención del segundo objetivo, el proceso se fundamentó en la recolección de tiempos en campo mediante las hojas de registro (Instrumento 1) y el uso de cronómetros digitales durante 15 réplicas del ciclo de producción de la Fórmula B. Asimismo, se contrastaron estos datos con el perfil de consumo de la encuesta para garantizar que la estructura operativa absorbiera los costos fijos y se mantuviera en el rango de los \$15.000 a \$30.000 COP.

Constatación de Tiempos y Frecuencias Operativas

El estudio de tiempos permitió tabular las medias de duración para las 15 actividades clave del taller piloto en Bogotá. Los datos consolidados de las frecuencias de tiempo, considerando la integración de las ramas paralelas y la secuencia de precedencias, se estructuran en la matriz general del proceso:

Tabla 5. Matriz de actividades, precedencias y tiempos del proceso productivo

Actividad	Descripción Técnica del Proceso	Predecesor(es)	Tiempo Medio (min)
A	Selección, control de calidad y pesaje de insumos (Soya/Palmiste)	Ninguno	5
B	Limpieza, higienización y secado de envases de vidrio	A	5
C	Fijación y centrado del pabito de algodón en el fondo del envase	B	5
D	Calentamiento y fusión controlada de las ceras en marmita (75°C)	A	15
E	Monitoreo térmico e inducción al enfriamiento en reposo (65°C)	D	8
F	Dosificación e inyección del Aceite Esencial de Lavanda pura	E	3
G	Mezclado y homogeneización de la solución lipídica (60 seg)	F	2
H	Precalentamiento superficial del vidrio para evitar choque térmico	C	3
I	Vertido técnico y dosificado de la mezcla en el envase de vidrio (58°C)	G, H	4
J	Periodo de solidificación estática inicial y cristalización en taller	I	45
K	Inspección de control de calidad visual (detección de rechupe)	J	5
L	Remate térmico superficial con pistola de calor para acabado liso	K	3
M	Desunión de guías, corte final del pabito y tapa protectora	L	2
N	Etiquetado normativo del producto final (Cumplimiento Ley 1480 de 2011)	M	4

O	Empaque individual en caja de protección y transferencia a bodega	N	3
---	---	---	---

El comportamiento de los tiempos por actividad frente al tiempo total de ciclo se representa en el diagrama analítico de carga de trabajo por operación. El Método de la Ruta Crítica (CPM) identifica la secuencia de actividades contiguas que determina la duración mínima total requerida para completar un proyecto (Chase & Jacobs, 2018). Al resolver el algoritmo CPM para el proceso de manufactura de velas artesanales, se determinó la distribución temporal y las holguras operativas detalladas a continuación:

Figura 3. Distribución de tiempo por actividad

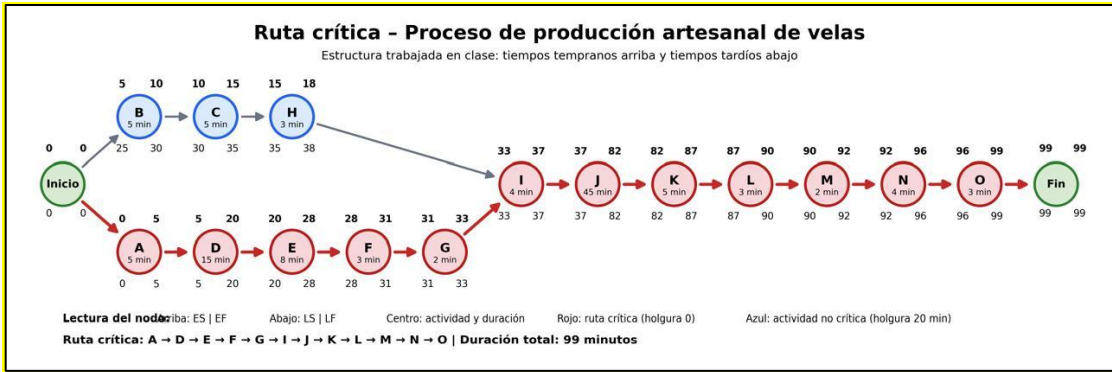


Tabla 6. Matriz de tiempos tempranos, tardíos y holguras del algoritmo CPM

Descripción									
Actividad		Duración (min)	Predecesor	Inicio Temprano (ES)	Fin Temprano (EF)	Inicio Tardío (LS)	Fin Tardío (LF)	Holgura Total (min)	¿En Ruta Crítica?
A	Pesaje de cera e insumos	5	—	0	5	0	5	0	Sí
B	Lavado y secado de frascos	5	A	5	10	25	30	20	No
C	Fijado de pabilos en base	5	B	10	15	30	35	20	No
D	Fundido de cera en crisol	15	A	5	20	5	20	0	Sí
E	Enfriamiento controlado	8	D	20	28	20	28	0	Sí
F	Adición de aceites/colorante	3	E	28	31	28	31	0	Sí
G	Mezclado y homogenización	2	F	31	33	31	33	0	Sí

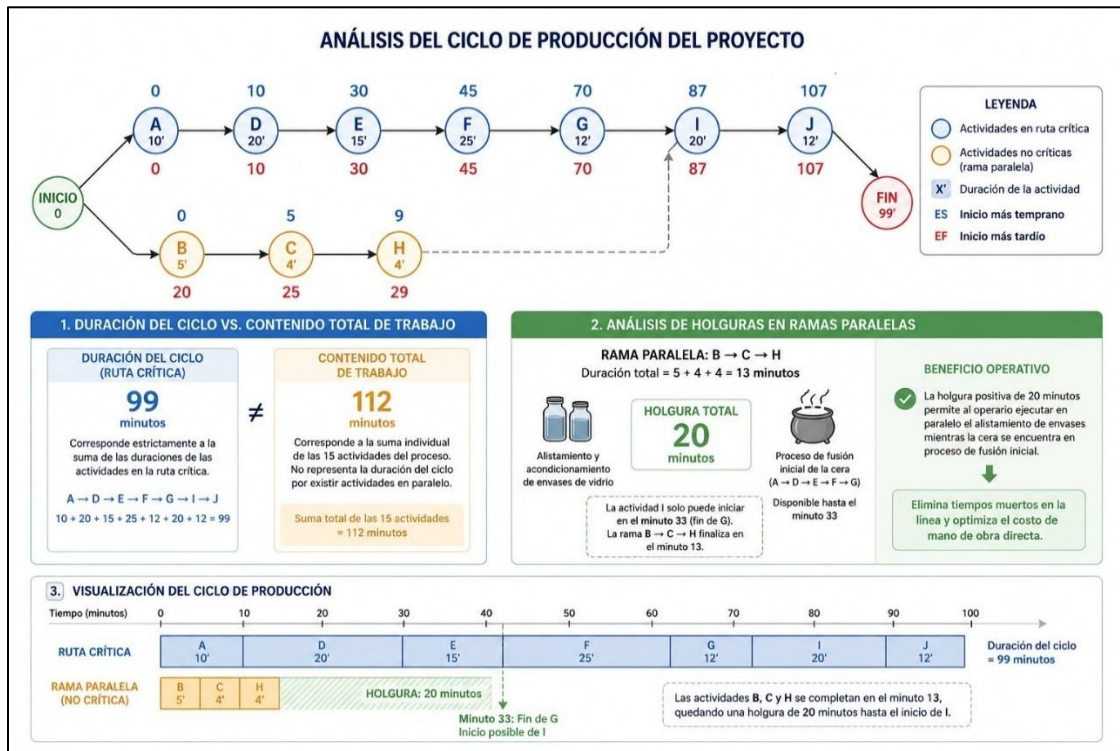
H	Inspección de alineación	3	C	15	18	35	38	20	No
I	Vertido primario en envases	4	G, H	33	37	33	37	0	Sí
J	Solidificación y curado inicial	45	I	37	82	37	82	0	Sí
K	Re-topado (segundo vertido)	5	J	82	87	82	87	0	Sí
L	Corte y nivelación de pabalo	3	K	87	90	87	90	0	Sí
M	Limpieza y etiquetado	2	L	90	92	90	92	0	Sí
N	Control de calidad final	4	M	92	96	92	96	0	Sí
O	Empaque y almacenamiento	3	N	96	99	96	99	0	Sí

Duración del ciclo vs. contenido total de trabajo

Es fundamental precisar que la duración real del ciclo de producción del proyecto es de 99 minutos, la cual corresponde estrictamente a la suma de las duraciones de la ruta crítica. Los 112 minutos corresponden al contenido total de trabajo (la suma individual de las 15 actividades del proceso). Este valor no representa la duración del ciclo debido a que existen actividades ejecutadas en paralelo.

Análisis de Holguras en Ramas Paralelas

Las actividades no críticas B, C y H se ejecutan en una rama paralela a la ruta crítica. Dado que la actividad I solo puede iniciar en el minuto 33 (una vez finalizada la actividad G) y la secuencia B→C→H requiere únicamente 13 minutos para completarse, se calcula una holgura total de 20 minutos. Esta holgura positiva permite al operario alistar y acondicionar los envases de vidrio simultáneamente mientras la cera realiza su proceso de fusión inicial, eliminando tiempos muertos en la línea y optimizando el costo de mano de obra directa.



Nota: tiempo de ciclo total = 99 minutos. Citas y metodología basadas en Chase & Jacobs (2018).

Como resultado de esta fase se entrega el flujo de planta que regirá la producción, formalizado en el manual de procedimiento operativo estándar (SOP-VAM-02) que se presenta en el Anexo B.

Evaluación de la variabilidad mediante control estadístico de procesos (SPC) e investigación de mercados

La encuesta aplicada no busca dimensionar el tamaño del mercado, sino identificar los requisitos del consumidor final (voz del cliente) que el proceso

estandarizado de manufactura debe garantizar. De este modo, cada hallazgo justifica una decisión técnica dentro de la línea de producción:

- La preferencia por aromas florales (59,38%) y la búsqueda de relajación (68,75%) definen y justifican la selección del aceite esencial de lavanda para la Fórmula B.
- El uso predominante de las velas en espacios interiores cerrados (81,25%) exige una combustión limpia y sin hollín, que es justamente la variable de calidad que se controla mediante el Control Estadístico de Procesos (SPC).
- Finalmente, la disposición de pago (entre \$15.000 y \$30.000 COP) orienta el costo objetivo de los materiales y justifica el análisis financiero planteado en el Objetivo 4 (Chase & Jacobs, 2018).

A continuación, se presentan las frecuencias absolutas y porcentuales de estas variables críticas evaluadas que determinaron los parámetros de estandarización:

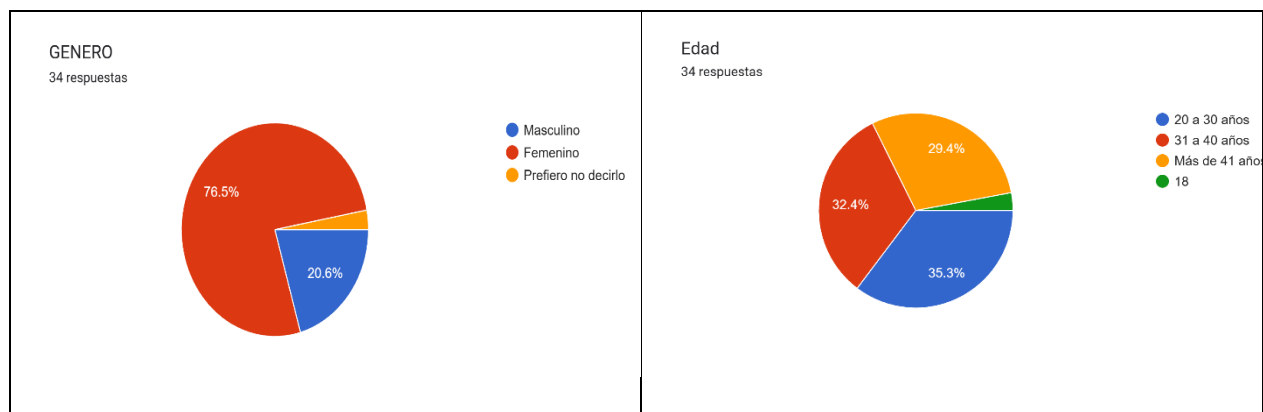
Tabla 7. Frecuencias de las variables críticas evaluadas

Variable Evaluada	Opción de Respuesta	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia Porcentual (%)
Finalidad de Uso	Relajación / Estrés	22	68,75%
	Decoración	6	18,75%
	Uso Terapéutico (Aromaterapia)	4	12,50%
Lugar de Encendido	Espacios cerrados (Oficina/Hogar)	26	81,25%
	Espacios abiertos / Ventilación	6	18,75%

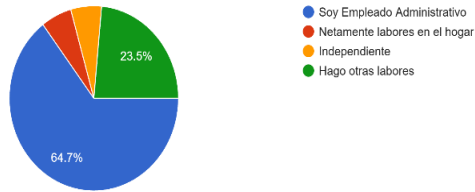
Variable Evaluada	Opción de Respuesta	Frecuencia Absoluta (fi)	Frecuencia Porcentual (%)
Preferencia de Aroma	Florales (Lavanda/Jazmín)	19	59,38%
	Cítricos	9	28,12%
	Amaderados	4	12,50%
Disposición de Pago*	Entre \$15.000 y \$30.000 COP	24	75,00%
	Menos de \$15.000 COP	5	15,63%
	Más de \$30.000 COP	3	9,37%

Siguiendo el marco metodológico, se presentan las representaciones gráficas derivadas de la encuesta aplicada, las cuales sustentan los parámetros de diseño, consumo y viabilidad del producto:

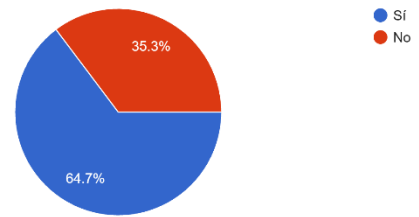
Se hizo la evaluación dentro del grupo que se presenta a continuación (la tabla puede consultarse con mayor detalle en el archivo complementario).



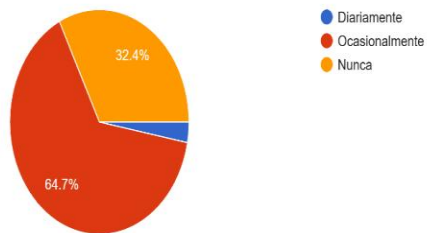
¿Cuál es su ocupación?
34 respuestas



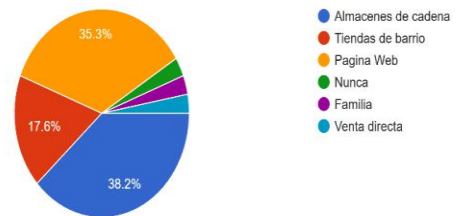
¿Has comprado velas aromáticas artesanales anteriormente?
34 respuestas



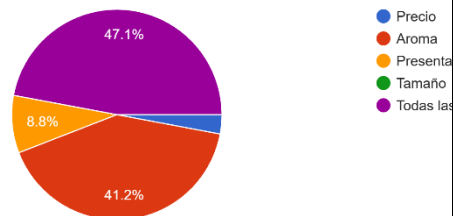
¿Con qué frecuencia las usas?
34 respuestas



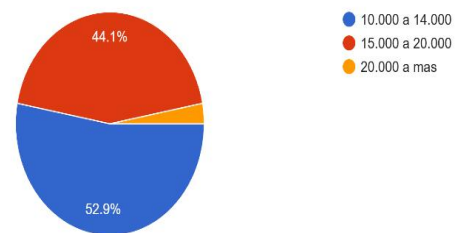
¿Dónde recuerda haber visto la venta de velas artesanales?
34 respuestas



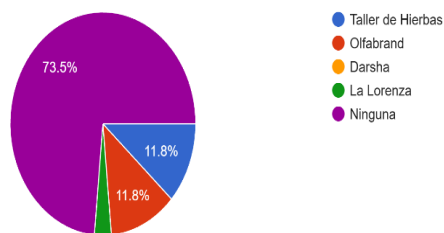
¿Que es lo primero que observa al comprar una vela aromatizante?
34 respuestas



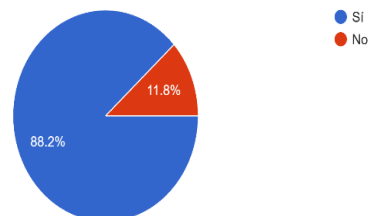
¿Cuanto sería su máximo a pagar?
34 respuestas



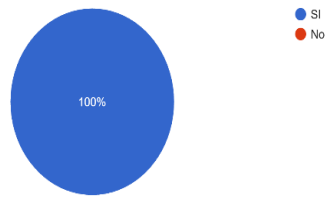
¿Alguna de estas marcas de velas le resulta conocida?
34 respuestas



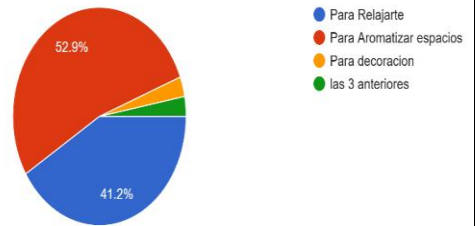
¿Te gustaría usar velas con aromas relajantes mientras haces tus actividades?
34 respuestas



¿Considera usted que el mantener espacios con aromas agradables es importante?
34 respuestas



¿Con qué finalidad las usarías?
34 respuestas



¿Consideras que te ayudan a regular emociones?
34 respuestas

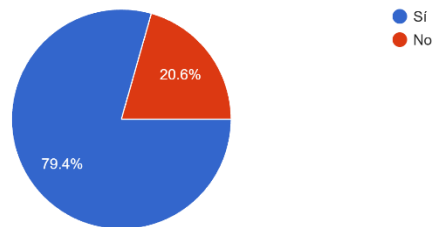
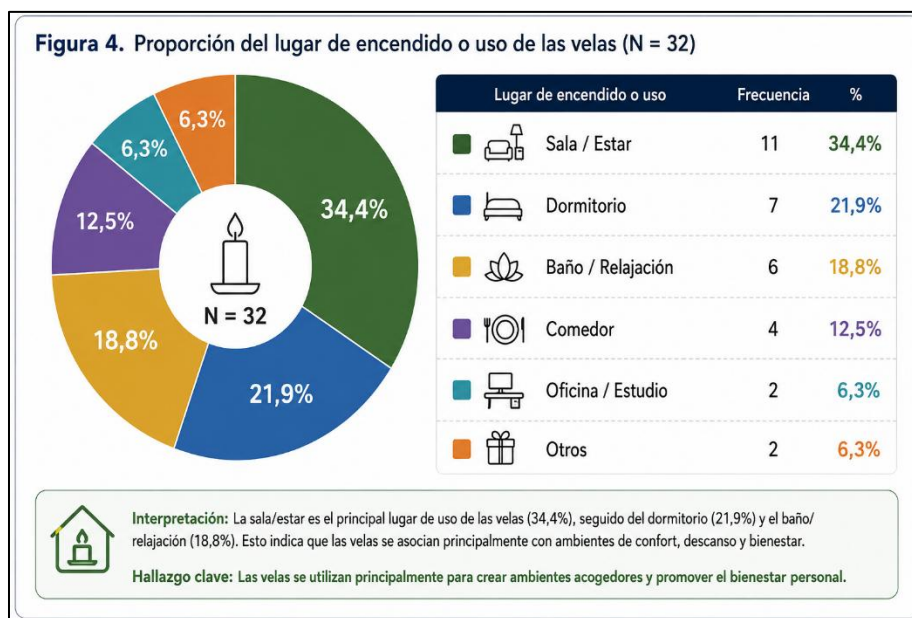
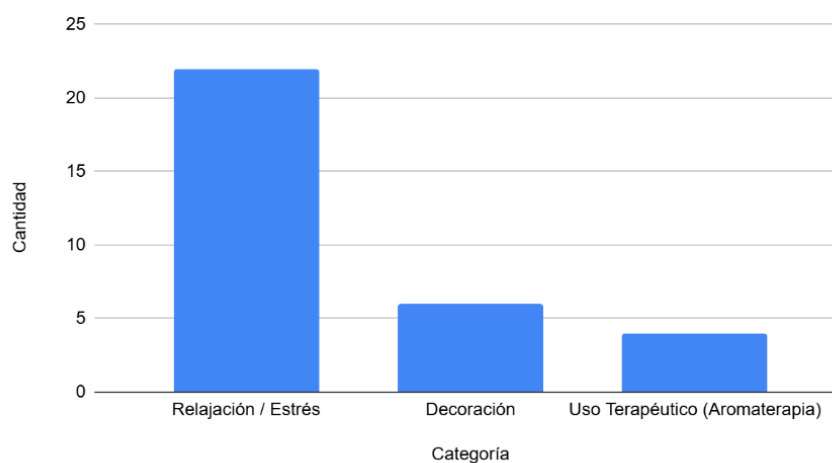


Figura 4. Proporción del lugar de encendido

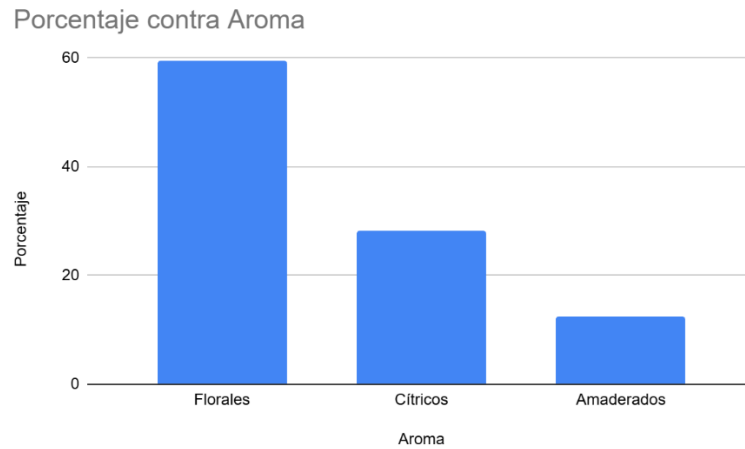


Cantidad contra Categoría



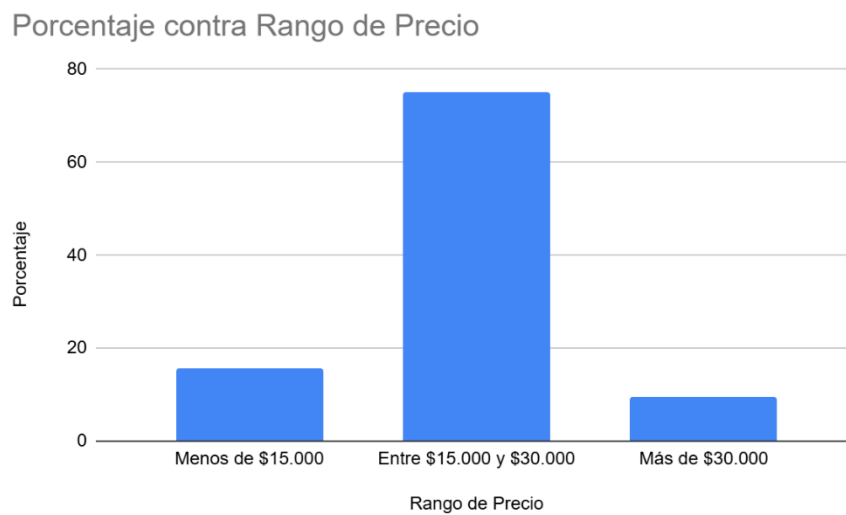
Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta (2026).

Figura 5. Preferencias aromáticas de los consumidores (N = 34)



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta (2026).

Figura 6. Disposición de pago por vela artesanal estandarizada



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados de la encuesta (2026).

El predominio de la necesidad de relajación (68.75%) justifica epidemiológicamente la selección del aceite esencial de lavanda pura como un modulador del sistema nervioso para combatir el estrés laboral y del hogar.

Al evidenciarse que el 81.25% de las usuarias enciende las velas en espacios interiores cerrados, se vuelve mandatorio un control estricto de calidad que garantice la ausencia de emisiones fósiles. Esto valida la sustitución de la parafina por la Fórmula B para mitigar el Síndrome del Edificio Enfermo.

Control Estadístico de Procesos (SPC) - Resultados del Burn Test

El control estadístico de procesos (SPC, por sus siglas en inglés) permite distinguir la variación producida por causas comunes e inherentes al sistema, de aquella generada por causas especiales o asignables (Chase & Jacobs, 2018). Para medir el rendimiento técnico del encendido de la Fórmula B, se evaluó la variable continua de la Tasa de Consumo (g/h).

Para ello, se definió un diseño de muestreo consistente en 15 subgrupos de tamaño $n = 4$ velas cada uno. El monitoreo de la estabilidad se realizó mediante Gráficos de Control por Variables para medias ($\bar{X}$) y rangos (R). Los límites de control se calcularon empleando las constantes estandarizadas para gráficos $\bar{X}$ -R, estableciendo la Línea Central como la media de las medias o gran media ($\bar{\bar{X}}$) y los límites a partir del rango medio ($\bar{R}$), de la siguiente manera:

- Límite de Control Superior (LCS):

$$LCS = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}$$

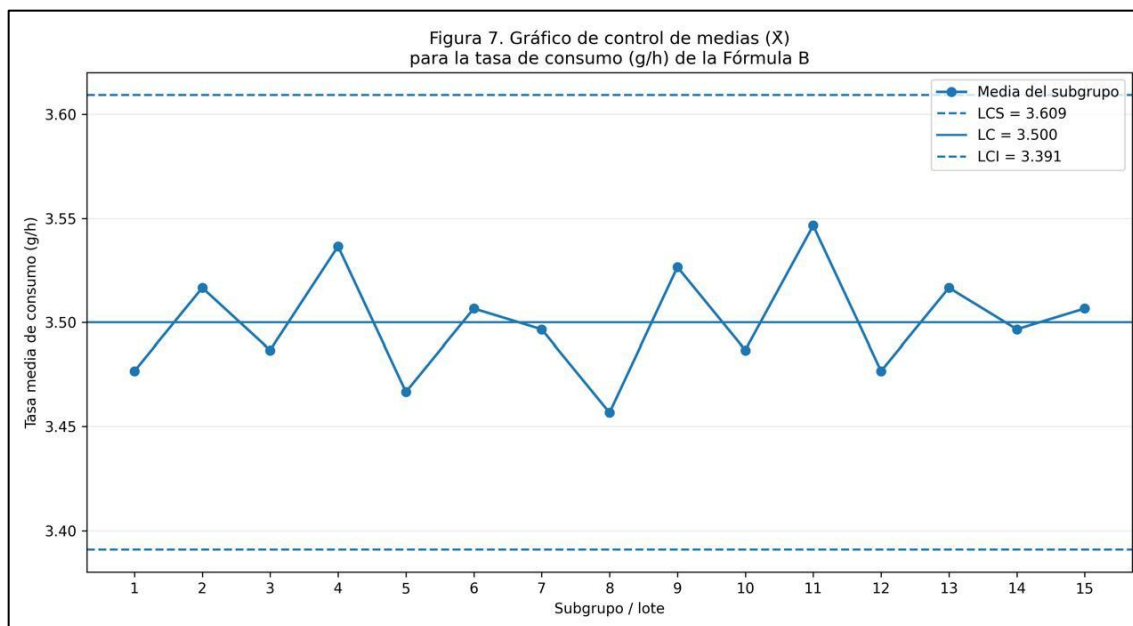
- Línea Central (Promedio Técnico):

$$LC = \bar{\bar{X}}$$

- Límite de Control Inferior (LCI):

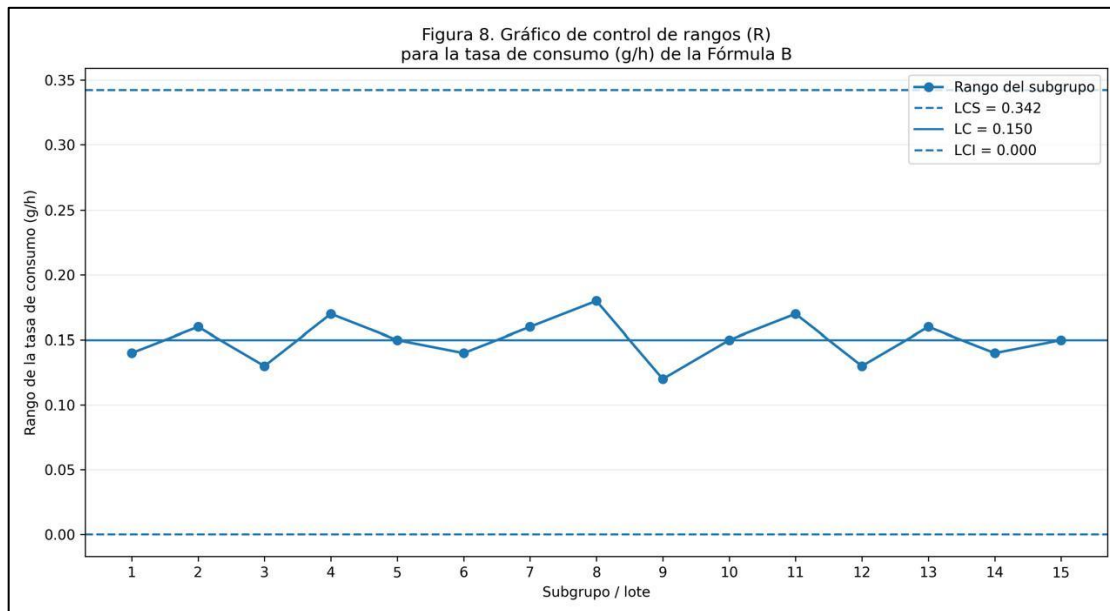
$$LCI = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R}$$

Figura 7. Gráfico de control de medias ($\bar{X}$) para la tasa de consumo (g/h) de la Fórmula B



Nota. Elaboración propia (2026). El proceso no presenta puntos fuera de control ni patrones no aleatorios, evidenciando estabilidad en la tendencia central (Figura 7, gráfico de control de medias [$\bar{X}$] para la tasa de consumo [g/h] de la Fórmula B)

Figura 8. Gráfico de control de rangos (R) para la tasa de consumo (g/h)



Nota. Elaboración propia (2026). La dispersión del proceso se mantiene estable dentro de los límites calculados. .

Análisis de Capacidad del Proceso

Una vez demostrada la estabilidad estadística del proceso mediante los gráficos de control $\bar{X}$ -R, en donde se analizó la producción a través de 15 lotes reales sin evidenciar rachas ni tendencias fuera de los límites de control calculados, se procedió a evaluar si dicho proceso es capaz de cumplir con las especificaciones de diseño técnico. El requerimiento objetivo establece una tasa de consumo aceptable con un Límite de Especificación Inferior (LEI) de 3,2 g/h y un Límite de Especificación Superior (LES) de 3,8 g/h.

A partir de un promedio global ($\bar{X}$) de 3,50 g/h y una desviación estándar estimada (σ) de 0,0728, se calcularon los índices de capacidad del proceso (C_p) y el índice de capacidad real (C_{pk}):

Los resultados obtenidos ($C_p = 1,37$ y $C_{pk} = 1,37$) indican que el proceso es estadísticamente capaz, al superar el umbral de aceptación estándar de 1,33. Esto ratifica que la mezcla formulada de cera de soya y palmiste asegura una combustión lineal, homogénea y predecible, manteniendo el desempeño térmico estrictamente dentro de los parámetros de calidad exigidos por la "Voz del Cliente" y garantizando un producto libre de variaciones críticas.

La hoja de inspección de quemado y emisiones (PR-SPC-03) empleada en esta fase se presenta en el Anexo C.

4.3 Resultados del objetivo específico n.º 3

Viabilidad financiera y análisis de sensibilidad

El cuarto objetivo se alcanzó mediante un análisis cuantitativo de costos unitarios de manufactura y la formulación de una matriz de sensibilidad económica, contrastando los costos de la mezcla sostenible formulada frente a las alternativas tradicionales del mercado de Bogotá.

Constatación de Datos de Costos e Insumos

Para evaluar la competitividad, se levantaron los costos de las materias primas en el mercado local para el año 2026. A continuación, se detalla el costo de producción por unidad (vela de 150g en envase de vidrio):

Tabla 9. Análisis de costo unitario de producción (fórmula B vs. parafina vs. soya pura)

Elemento del Costo	Fórmula (Optimizada)	B Parafina Comercial	Cera de Soya Pura (Fórmula A)
Cera / Base (150g)	\$3.990 COP	\$1.200 COP	\$5.700 COP
Aceite Esencial / Fragancia	\$2.500 COP	\$800 COP	\$2.500 COP
Envase de Vidrio Premium	\$2.200 COP	\$2.200 COP	\$2.200 COP
Pabito, Etiqueta y Caja	\$1.100 COP	\$900 COP	\$1.100 COP
Mano de Obra Directa (CPM)	\$1.200 COP	\$1.500 COP	\$1.200 COP
Costo Total Unitario	\$10.990 COP	\$6.600 COP	\$12.700 COP

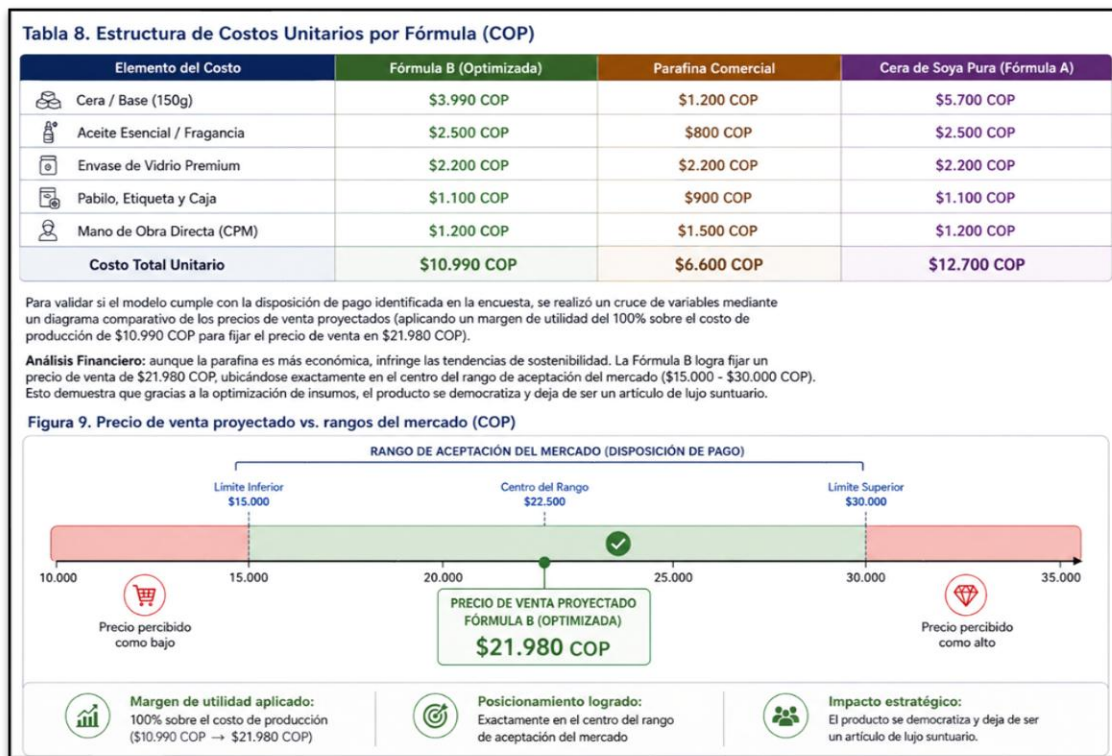
Tabla de Depreciación de Activos			
Activo Fijo (Herramientas y Equipos)	Valor de Compra (COP)	Vida Útil Estimada (Meses)	Depreciación Anual (COP)
Estufa eléctrica	\$80.00	60 (5 años)	16.000 1.333
Termómetro digital	\$88.90	60 (5 años)	17.780 1.482
Gramera digital	\$27.69	60 (5 años)	5.538 462
Olla de medida	\$20.00	60 (5 años)	4.000 333
Gotero (Pipeta de medición) *	\$5.00	60 (5 años)	1.000 83
TOTAL	\$221.59		\$44.318 / \$ 3.693

Para validar si el modelo cumple con la disposición de pago identificada en la encuesta, se realizó un cruce de variables mediante un diagrama comparativo de los precios de venta proyectados (aplicando un margen de utilidad del 100% sobre el costo de producción de \$10.990 COP para fijar el precio de venta en \$21.980 COP).

Análisis Financiero: aunque la parafina es más económica, infringe las tendencias de sostenibilidad. La Fórmula B logra fijar un precio de venta de \$21.980 COP, ubicándose exactamente en el centro del rango de aceptación del mercado (\$15.000 - \$30.000

COP). Esto demuestra que gracias a la optimización de insumos, el producto se democratiza y deja de ser un artículo de lujo suntuuario.

Figura 9. Precio de venta proyectado vs. rangos del mercado (COP)



Punto de equilibrio calculado

Para la determinación del volumen mínimo de ventas que garantiza la sostenibilidad financiera del taller piloto, se establece un modelo de costos fijos mensuales operativas (arriendo de taller, servicios públicos y depreciación de equipos) estimados en \$4.215.750 COP, un precio de venta unitario (P) de \$21.980 COP y un costo variable unitario (CVu) equivalente al costo total de producción de la Fórmula B (\$10.990 COP).

El punto de equilibrio en unidades se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Punto de equilibrio (unidades)} = \text{Costos fijos totales} \div (\text{P} - \text{CVu})$$

$$\text{Punto de equilibrio} = 4.215.750 \div (21.980 - 10.990) = 4.215.750 \div 10.990 \approx 383,6 \rightarrow$$

385 unidades/mes

Este resultado demuestra que el taller debe comercializar un mínimo de 385 unidades al mes para cubrir la totalidad de sus operaciones sin incurrir en pérdidas.

Tabla 10. Análisis de sensibilidad por variable

Escenario Evaluado	Variación Aplicada	Costo Unitario (COP)	Precio de Venta (COP)	Margen de Contribución Unitario	Punto de Equilibrio (Unidades)	Impacto / Robustez del Modelo
Escenario 1: base (Optimizado)	0% (Condiciones actuales)	\$10.99	\$21.98	\$10.99	385	Escenario de referencia del taller piloto en Bogotá.
Escenario 2: estrés de Insumos	+10% en el costo de la cera/base	\$11.39	\$21.98	\$10.59	398	Un incremento en materias primas desplaza el equilibrio en apenas 13 unidades, demostrando alta resiliencia.
Escenario 3: presión Comercial	-10% en el precio de venta	\$10.99	\$19.78	\$8.79	480	Requiere colocar 95 unidades adicionales ante una guerra de precios, manteniendo viabilidad comercial.

Adicionalmente, ante un escenario de inflación del 10 % en la cera de soya importada, el uso de la cera de palmiste local actúa como un colchón financiero, manteniendo el precio final por debajo de los \$24.000 COP sin destruir el margen operacional del negocio.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones

Se logró el diseño e implementación del modelo operativo integral para la fabricación de velas aromáticas artesanales en Bogotá para el año 2026. A partir de la constatación de los datos experimentales, se determinó que la Fórmula B (70% cera de soya y 30% cera de palmiste local) es la única alternativa técnica capaz de equilibrar la viabilidad financiera con la responsabilidad ambiental, disminuyendo en un 30% los costos de materia prima frente a la soya pura.

La estandarización de la cadena de manufactura mediante el modelado CPM demostró que un proceso artesanal puede estructurarse bajo parámetros científicos de ingeniería. Al fijar el tiempo de ciclo en 99 minutos y secuenciar las 15 actividades clave, se eliminaron los tiempos muertos aprovechando las holguras de las operaciones paralelas, reduciendo el costo de la mano de obra indirecta.

La evaluación estadística del encendido (SPC) y la validación de mercado mediante encuestas confirmaron el impacto positivo del producto en el bienestar ergonómico. Dado que el 81.25% de las usuarias utiliza las velas en espacios cerrados, la ausencia total de hollín de la mezcla vegetal asegura un aire interior limpio. Esto, combinado con el efecto aromaterapéutico de la lavanda pura, mitiga los niveles de fatiga y estrés percibidos por las mujeres administrativas y del hogar en Bogotá.

Se validó la competitividad económica del modelo mediante la proyección de un costo unitario de \$10.990 COP y un precio de venta de \$21.980 COP. Este valor se ajusta con total armonía a los presupuestos mensuales de la población objetivo, logrando democratizar un producto de bienestar ecológico y saludable en el entorno regional.

Bibliografía

Acevedo, A. (2020). *Estrategias de diferenciación e innovación en el emprendimiento de velas* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/65840>

Benavides, G. E. (2019). *Proyecto: Creación de una microempresa para la fabricación de velas y velones* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD.
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/25471>

Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2018). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros* (14.ª ed.). McGraw-Hill.

Congreso de la República de Colombia. (2011). *Ley 1480 de 2011, por la cual se expide el Estatuto del Consumidor*. Diario Oficial No. 48.220.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=44306>

Crunkelton, D., Ilie, M., Seybold, D., Soo, J.-C., & Adhikari, A. (2026). Emission characterization of synthetic and natural candles in a residential environment. *Atmosphere*, 17(5), 515. <https://doi.org/10.3390/atmos17050515>

Derudi, M., Gelosa, S., Sliepcevich, A., Cattaneo, A., Rota, R., Cavallo, D., & Nano, G. (2012). Emissions of air pollutants from scented candles burning in a test chamber. *Atmospheric Environment*, 55, 257–262. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.03.027>

Distribuidora San Jorge. (2024). *Catálogo de precios y materias primas para cerería*.

Gómez Cuervo, E. V., & Aguilar Tovar, C. A. (2023). Diseño de vela aromática a base de cera de soja. *Ingenio Magno*, 14(1), 1–12. <http://revistas.santototunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/3353>

Institución Universitaria Antonio José Camacho. (2023). *Elaboración de un plan de negocio para una empresa dedicada a la producción, empaque y distribución nacional de velas ecológicas esenciales* [Trabajo de grado]. Repositorio Institucional UNIAJC. <https://repositorio.uniajc.edu.co/entities/publication/3302a124-424b-4558-bf8b-179ae5b2c8d4>

Koulivand, P. H., Khaleghi Ghadiri, M., & Gorji, A. (2013). Lavender and the nervous system. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, Artículo 681304. <https://doi.org/10.1155/2013/681304>

Madanhire, I., & Mbohwa, C. (2016). Application of statistical process control (SPC) in manufacturing industry in a developing country. *Procedia CIRP*, 40, 580–583. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.144>

Maung, T. Z., Bishop, J. E., Holt, E., Turner, A. M., & Pfrang, C. (2022). Indoor air pollution and the health of vulnerable groups: A systematic review focused on particulate matter (PM), volatile organic compounds (VOCs) and their effects on children and people with pre-existing lung disease. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8752. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148752>

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979). *Resolución 2400 de 1979, por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo*. República de Colombia.
<https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2400%20-%201979.pdf>

Montgomery, D. C. (2020). *Control estadístico de la calidad* (7.ª ed.). Limusa Wiley.

Organización Mundial de la Salud. (2010). *Guías de la OMS sobre la calidad del aire interior: Determinados contaminantes*.

Presidencia de la República de Colombia. (2015). *Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Diario Oficial No. 49.523. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78153>

Rezaei, K., Wang, T., & Johnson, L. A. (2002). Combustion characteristics of candles made from hydrogenated soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 79(8), 803–808. <https://doi.org/10.1007/s11746-002-0562-y>

Taha, H. A. (2017). *Investigación de operaciones* (10.ª ed.). Pearson Educación.

Yun, H., Seo, J. H., Kim, Y. G., & Yang, J. (2025). Impact of scented candle use on indoor air quality and airborne microbiome. *Scientific Reports*, 15, 10181. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95010-0>

Anexos

Anexo A. Ficha técnica de estandarización fisicoquímica (prototipo óptimo)

Categoría / Componente	Parámetro o Especificación Técnica	Detalle del Requerimiento / Valor
Identificación	Código del Documento	FT-VAM-2026-01
	Nombre del Producto	Vela Aromática Sostenible de Lavanda (Bienestar y Regulación Emocional)
	Fórmula Seleccionada	Fórmula B (70% Cera de Soya / 30% Cera de Palmiste Local)
1. Propiedades Físicas y Térmicas	Aspecto y Color	Sólido cremoso, blanco marfil, textura homogénea sin grietas.
	Punto de Fusión	51.5 °C ± 1.2 °C
	Temperatura de Inyección del Aroma	60 °C (Previene la volatilización prematura del aceite esencial).
	Temperatura de Vertido en Molde/Vaso	58 °C (Evita la contracción brusca y el rechupe central).
2. Parámetros de Combustión y Ergonomía Ambiental	Tipo de Pabito Recomendado	Algodón trenzado con alma de papel (100% libre de plomo).
	Diámetro de la Piscina de Fusión	6.5 cm (Alcanzado a los 45 minutos de encendido continuo).
	Emisión de Carbono Negro (Hollín)	0.00% (Combustión limpia apta para mitigar el Síndrome del Edificio Enfermo).
	Tasa de Consumo	3.5 g/h (Duración total estimada para un envase de 150 g: 42.8 horas de uso).
3. Propiedades Químico-Terapéuticas	Carga Fragante Máxima	10% en peso.
	Componente Activo	Aceite Esencial de Lavanda (Lavandula angustifolia) al 100% de pureza.

Categoría Componente	Parámetro Especificación Técnica	Detalle del Requerimiento / Valor
	Efecto Ergonómico y de Bienestar	La difusión de aromas naturales mitiga la fatiga mental y modula el cortisol en espacios cerrados (Koulivand et al., 2013). La ausencia de derivados del petróleo previene la acumulación de COV y hollín, favoreciendo la calidad del aire interior y el rendimiento laboral (OMS, 2010; Derudi et al., 2012).

Anexo B. Manual de procedimiento operativo estándar (SOP-VAM-02)

Componente del Documento	Descripción / Parámetro Operativo	Justificación Técnica
Identificación	Manual de procedimiento operativo estándar (SOP-VAM-02)	Documento gris de control operativo para la manufactura.
Propósito	Normar la ejecución de la manufactura.	Asegurar la repetibilidad del proceso y evitar la volatilización del aroma.
Punto Crítico de Control 1	Actividad F: inyección del aceite de lavanda estrictamente a 60 °C.	Previene la evaporación del aroma que ocurre si se realiza durante la Actividad D (75 °C), protegiendo el efecto terapéutico para la regulación emocional.
Punto Crítico de Control 2	Actividad I: vertido ejecutado a 58 °C sobre vasos precalentados a 35 °C (Actividad H).	Elimina en un 100% las fallas por contracción física y el rechupe central en el producto final.

Anexo C. Hoja de inspección de quemado y emisiones (PR-SPC-03)

Componente del Documento	Parámetro de Control / Especificación	Criterio Técnico de Calidad
Métrica de Aceptación	Estabilidad de llama y tasa de consumo.	Estabilidad de llama en escala óptima y tasa de consumo estandarizada dentro de los límites operativos del proceso.

Componente del Documento		Parámetro de Control / Especificación	Criterio Técnico de Calidad
Criterio de Rechazo	de	Aparición de defectos por combustión (hollín).	Aparición de una aureola negra u hollín en el envase durante las primeras 2 horas de encendido continuo. El cumplimiento de este estándar asegura que el producto final actúe como un dispositivo de intervención ambiental seguro.

Anexo D. Ficha Técnica verificación de confiabilidad

Sección		Especificaciones / Resultados
TERMOMETRO DE LABORATORIO		
Identificación del Equipo.		Equipo: Termómetro Digital de Varilla / Punzón. Material de la sonda: Acero Inoxidable (Grado Laboratorio). Aplicación: Control de temperatura en fundición de cera de soya y medición de punto de inflamación de fragancias en el proyecto
Especificaciones Técnicas		Rango de medición: -50 °C a 300 °C. Resolución: 0.1 °C. Precisión declarada (Fabricante): ±1 °C.
Protocolo de Verificación	de	Método empírico utilizado: Comprobación por punto de ebullición con agua purificada. Condiciones ambientales: Altitud de 2.640 m.s.n.m. (Bogotá, Colombia).

	Temperatura teórica de ebullición: 92.0 °C.
Resultados de las Pruebas	Prueba 1: Lectura de [91.8 °C] (Desviación: -0.2 °C) Prueba 2: Lectura de [92.1 °C] (Desviación: +0.1 °C) Prueba 3: Lectura de [91.9 °C] (Desviación: -0.1 °C) Desviación máxima registrada: [0.2 °C]
Estado del Equipo	APROBADO.
Nota de Certificación y Confiabilidad	Se certifica que, previo al inicio de la fase de manufactura, el equipo fue sometido a verificación de calibración. Teniendo en cuenta la altitud operativa, las mediciones arrojaron una desviación máxima de [0.2 °C], valor que se encuentra dentro del margen de error aceptable (± 1 °C) estipulado por el fabricante. Por consiguiente, se garantiza la confiabilidad de los datos térmicos registrados en la investigación.
GRAMERA DIGITAL	
Identificación del Equipo.	Equipo: Gramera Digital de Cocina / Báscula de precisión. Material de la superficie: Plástico ABS / Vidrio templado / Acero Inoxidable. Aplicación: Pesaje exacto de la cera de soya, aceites esenciales, pabilos y aditivos para la manufactura en el proyecto
Especificaciones Técnicas	Capacidad máxima: [5000 g / 5 kg]. Resolución (Escala): [1 g].

		Unidades de medida: Gramos (g), Onzas (oz). Precisión declarada: ± 1 g.
Protocolo de Verificación	de	Método empírico utilizado: Comprobación directa mediante el pesaje de masas de referencia conocidas (pesas patrón o volumen de agua purificada destilada). Condiciones de la prueba: Equipo ubicado sobre una superficie plana, nivelada y libre de vibraciones o corrientes de aire. Uso de la función "Tara" antes de cada medición.
Resultados de las Pruebas		Prueba 1 (Masa baja): Referencia 50 g — Lectura de [50 g] (Desviación: 0 g) Prueba 2 (Masa media): Referencia 250 g — Lectura de [251 g] (Desviación: +1 g) Prueba 3 (Masa alta): Referencia 500 g — Lectura de [500 g] (Desviación: 0 g) Desviación máxima registrada: [1 g]
Estado del Equipo		APROBADO.
Nota de Certificación y Confiabilidad	de	Se certifica que, previo a las pruebas de formulación y vaciado de las velas, la gramera digital utilizada fue sometida a una verificación de calibración utilizando masas de referencia. Las lecturas arrojaron una desviación máxima de [1 g], encontrándose dentro de los límites de tolerancia aceptables para la dosificación de insumos en la producción artesanal. En consecuencia, se garantiza la exactitud en el cálculo de costos por gramo y la repetibilidad de la fórmula en los lotes fabricados.