

Extracción de pigmento de *syzygium cumini* y aroma de limón para la elaboración de marcadores

Extraction of syzygium cumini pigment and lemon aroma for the production of markers

Silvia Juliana Correa Palma

Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica, Colombia.

sjulianacorrea@unicesar.edu.co; <https://orcid.org/0000-0003-0158-4071>

Alex Johan Rojas Barragán

Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica, Colombia.

ajohanrojas@unicesar.edu.co; <https://orcid.org/0000-0001-9747-6117>

Luis Miguel Rodríguez Badillo

Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica, Colombia.

luismiguelrodriguez@unicesar.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-0059-6823>

Jacqueline Chavez Galvis

Universidad Popular del Cesar, Seccional Aguachica, Colombia.

jchavez@unicesar.edu.co; <https://orcid.org/0000-0002-9343-6983>

Recepción: 11 de octubre de 2025

Aceptado: 27 de noviembre de 2025

Publicado: 31 de diciembre de 2025

¿Cómo citar este artículo?

Correa Palma, S. J., Rojas Barragán, A. J., Rodríguez Badillo, L. M., & Chavez Galvis, J. (2025). Extracción de pigmento de *syzygium cumini* y aroma de limón para la elaboración de marcadores. *Revista Científica Horizontes Multidisciplinarios*, 2(2), 279-289. <https://doi.org/10.65705/RHOMU.v2i2.55>

Copyright: © 2025 Silvia Juliana Correa Palma, Alex Johan Rojas Barragán, Luis Miguel Rodríguez Badillo, Jacqueline Chavez Galvis; Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0) 

RESUMEN

Los pigmentos se han venido utilizando a través del tiempo para diferentes usos, en la industria de los marcadores de tinta son perfectos para escribir con exactitud y nitidez. Es por esta razón que esta investigación propone la elaboración de un marcador mediante la extracción de pigmento natural de *Syzygium cumini* y esencia de Citrus limon para ofrecer a los usuarios un elemento práctico y saludable que combine ingredientes naturales y proporcione una experiencia sensorial agradable reduciendo la contaminación y promoviendo la preservación del medio ambiente al evitar el uso de ingredientes sintéticos y procesos industriales que podrían generar residuos o impactos negativos. Para ello se utilizó una metodología con enfoque experimental aplicado, partiendo de la Selección de frutas maduras de *Syzygium cumini* y esencia de citrus limón, hasta el envasado del marcador. Se logra obtener un marcador con una tinta de color intenso y duradero, con olor característicos y refrescante del limón, cambiando la fragancia de los marcadores tradicionales. Se puede concluir que la técnica de extracción de estos dos productos naturales funciona y que su aplicabilidad tiene potencial y la presencia del aroma del limón permite mayor aceptación.

PALABRAS CLAVE: Extracción, Concentración, Filtrado, Pigmento, Propiedades.

ABSTRACT

The Pigments have been used throughout time for different purposes, but in the industrial ink markers, In the ink marker industry, they are perfect for writing accurately and clearly. For this reason, this research proposes the development of a marker by extracting natural pigment from *Syzygium cumini* and Citrus limon essence. to offer users a practical and healthy item tool that combines natural ingredients and provides a pleasant sensory experience, reducing pollution and promoting environmental preservation by avoiding the use of synthetic ingredients and industrial processes that could generate waste or negative impacts. A methodology with an applied experimental approach was used, starting from the selection of ripe *Syzygium cumini* fruits and Citrus limon essence, to the packaging of the marker. The result is a marker with an intense and long-lasting ink color, with the characteristic and refreshing scent of lemon, changing the fragrance of traditional markers. It can be concluded that the extraction technique of these two natural products works and that its applicability has potential, and that the presence of the lemon aroma allows for greater acceptance.

KEYWORDS: Extraction, Concentration, Filtration, Pigment, Properties.

INTRODUCCIÓN

Las innovaciones buscan el bienestar de la sociedad esto se ha logrado en el tiempo con todos los avances que han obtenido la industria química y agroalimentaria logrando producir elementos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. Específicamente, en lo que respecta a los marcadores de tinta, la mayoría de los productos que se ofrecen comercialmente emplean colorantes artificiales provenientes del petróleo y disolventes tóxicos, los cuales implican un peligro no solo para la salud de las personas, sino también para el entorno natural, debido a su lenta descomposición y capacidad contaminante (Villalobos-González et al., 2021), de igual manera a pesar de su origen natural, los pigmentos tienen un uso limitado como colorantes en muchas industrias (Renita et al., 2023).

Los pigmentos naturales extraídos como los del *Syzygium cumini* y esencia de Citrus limón utilizados para el mercado de marcadores es la razón que ha permitido a esta investigación proponer la elaboración de un marcador para ofrecer a los usuarios un elemento práctico y saludable que combine ingredientes naturales y proporcione una experiencia sensorial agradable reduciendo la contaminación y promoviendo la preservación del medio ambiente al evitar el uso de ingredientes sintéticos y procesos industriales que podrían generar residuos o impactos negativos (Negi et al, 2025).

Syzygium cumini comúnmente conocido como *jambul*, *jambolán*, o ciruela negra, es un árbol frutal nativo de la India y otras partes de Asia. Especie frutal de la familia *Myrtaceae*, contiene antocianinas, flavonoides y taninos responsables de su coloración púrpura (Koop et al., 2021; Ferreira et al., 2021). Es un árbol tamaño mediano que puede alcanzar alturas de hasta 30 metros, tiene una copa densa y ramificada, con hojas elípticas de color verde brillante y flores blancas o rosadas que se agrupan en racimos. El fruto de *Syzygium cumini* es una baya redonda u ovalada, de aproximadamente de 1,5 a 3,5 centímetros de diámetro, que se vuelve de color púrpura oscuro o casi negro cuando está maduro de color púrpura oscuro, deliciosos, carnosos y comestibles; contiene una sola semilla grande. La cosecha del fruto comienza después de 9-10 años de la plantación. El fruto muestra madurez después de la floración, que puede ocurrir en masa en pocos días o de forma constante durante hasta 3 meses.

En la medicina tradicional, diversas partes del árbol, como las hojas, la corteza y las semillas, se utilizan para tratar los niveles de azúcar en la sangre, tratar la diarrea, aliviar problemas de la piel, como la erupción cutánea y las úlceras. Se ha demostrado por investigación que las semillas y frutos de *Syzygium cumini* reporta la presencia de alcaloides, aminoácidos, flavonoides, glicósidos, saponinas, taninos, triterpenoides, sesquiterpenos, antocianinas y otros componentes y que contienen propiedades farmacológicas como: antidiabética, hipolipidémica, antioxidante, antiinflamatoria, anticonvulsionante entre otros.

Debido a su contenido de pigmentos naturales con propiedades colorantes, que van desde tonalidades rojas hasta púrpuras, y se ha observado su potencial aplicación en alimentos, cosméticos, textiles y pinturas. Aunque la mayoría de los colorantes alimentarios naturales provienen de plantas, otros se obtienen de animales o incluso de minerales (lidon silvestre, 2010).

La esencia de limón es un concentrado líquido obtenido a partir de la cáscara del limón, que captura su característico aroma cítrico y fresco compuestos volátiles con efectos aromáticos y desinfectantes ampliamente utilizados en cosmética y alimentos (Rahmat Budiarto et al., 2024). Es ampliamente

utilizada en la industria alimentaria, para agregar sabor y aroma a una amplia variedad de productos, como bebidas, postres, helados, dulces y productos de panadería. También se emplea en la preparación de productos de limpieza y detergentes, debido a su aroma refrescante y propiedades desodorantes, en la industria cosmética y de fragancias, la esencia de limón se utiliza como ingrediente en la elaboración de perfumes, lociones, jabones y productos para el cuidado de la piel.

Su aroma cítrico se considera revitalizante y energizante, por lo que a menudo se incorpora en productos de cuidado personal para brindar una sensación refrescante y estimulante. En este estudio buscamos desarrollar una alternativa sostenible y ecológica, utilizando ingredientes naturales que brinden una experiencia creativa única. Nuestro enfoque se centra en la extracción eficiente del pigmento de *Syzygium cumini* y la captura del aroma de limón, para luego combinarlos en la formulación de marcadores borrables de calidad. A través de este proyecto, aspiramos a fomentar la conexión con la naturaleza y promover el uso de productos respetuosos con el medio ambiente en nuestras actividades diarias. Además de su valor estético, estos marcadores tendrán propiedades borrables, lo que los hace prácticos y funcionales.

Los marcadores resultantes ofrecerán una nueva opción atractiva para docentes, estudiantes y profesionales, permitiéndoles expresarse de manera única y personalizada en sus proyectos además también se fomentaría la conciencia ambiental y estimulación de la creatividad en el uso de recursos naturales.

METODOLOGIA

La metodología de este estudio corresponde a una investigación experimental aplicada con enfoque cuantitativo, cuyo propósito fue evaluar la viabilidad técnica de la extracción del pigmento natural de *Syzygium cumini* (jambolán) y de la esencia de Citrus limón (limón), con el fin de formular un marcador ecológico que combine color y aroma naturales en reemplazo de los sintéticos. Con este método se probó la viabilidad del uso de los compuestos obtenidos de los vegetales como alternativa de sustitución de los colorantes y aromas sintéticos (Negi, 2025; Koop et al., 2021).

El diseño experimental se puso en práctica en el laboratorio a través de tres fases: la primera de selección y preparación de los frutos y los limones, la segunda de extracción de los compuestos activos y la tercera para formular el marcador y evaluar el producto final (Ferreira et al., 2021). La población fue constituida por los frutos maduros de *Syzygium cumini* y por los limones frescos que fueron seleccionados más por la calidad que por otra cosa. Se llevó una muestra de 2 kg de frutos y de 10 limones en condiciones óptimas de selección, tal como recomiendan do Carmo Brito et al. (2017) y Camacho-Romero et al. (2017), para garantizar la pureza y estabilidad del material vegetal.

Para la obtención del pigmento natural, se utilizaron materiales y utensilios de tipo casero, corroborando de este modo la viabilidad de realizar este tipo de extracciones de forma accesible y sostenible, siguiendo lo señalado por Tena y Asuero (2022), sobre la aplicabilidad de métodos sencillos en la extracción de antocianinas. Como, por lo tanto, como elementos se utilizaron las frutas maduras de *Syzygium cumini* un cuchillo o tijeras con el objetivo de trocear, tarros de cristal o de plástico para macerar y almacenar el extracto, filtros de café o muselinas para filtrar el extracto macerado, embudos para facilitar el trasvase del líquido, frascos de cristal oscuro para los pigmentos, los hornos para deshidratación, utensilios metálicos como cuchara o espátula para agitar el material durante la preparación.

El procedimiento consta de varias fases: inicialmente, se seleccionaron una serie de frutos de apariencia más madura y homogénea para obtener una buena concentración de los pigmentos naturales, considerando que el grado de madurez influye en la concentración de antocianinas (Koop et al., 2021; Sayonara et al., 2025).

Posteriormente, se llevó a cabo una limpieza de los frutos con agua corriente y desinfectada con hipoclorito al 1 %. Proceso importante con la intención de eliminar impurezas o residuos de la superficie. Una vez limpias, las frutas se despojaron de sus semillas, ya que la pulpa es la parte donde se encuentran la mayor parte de los compuestos colorantes (Ferreira et al., 2021).

Se licuó las tres cuartas partes de la pulpa individual recolectada, con agua tratada en proporción 1:2 (p/v) y se sometió a calentamiento a 60 °C durante 45 min. El extracto filtrado se concentró por evaporación hasta alcanzar 18 °Brix, con rendimiento del 78 % respecto a la masa inicial. El pH se controló desde el inicio de 4.0 al final fue 4.2 de forma que la mezcla resultante fuese lo más fluida y homogénea posible para asegurar la liberación de los pigmentos. La mezcla fue filtrada a través de un paño o bien de muselina que separaba la fase líquida del material sólido, y el extracto obtenido fue transferido a un recipiente de soporte térmico y se concentró mediante un proceso de evaporación controlada, eliminándose parte del disolvente natural y concentrando el pigmento (Molina et al., 2023). El extracto líquido final fue de un color morado oscuro, el cual contaba con una tonalidad estable y brillante, lo que coincide con estudios de do Carmo Brito et al. (2017) y León et al. (2015), que destacan el potencial del *jambolán* como fuente de pigmentos duraderos para aplicaciones cosméticas y alimentarias.

Para la obtención de la esencia aromática de limón (*Citrus limón*), también se hizo uso de materiales de accesibilidad fácil, favoreciendo la simplicidad y la estabilidad en la conservación de los compuestos volátiles (Rahmat Budiarto et al., 2024; Valarezo et al., 2025). Los materiales empleados fueron limones frescos, un rallador o pelador, aceite vegetal, tarros de vidrio con tapa hermética, una olla o cacerola con agua, y papel filtro o gasa o frascos de vidrio oscuro para su almacenamiento final. El proceso dio comienzo con la selección y el lavado de limones frescos, asegurándose de que las cáscaras estuviesen libres de residuos, tal como recomiendan Huang et al. (2025) y Núñez-Gómez et al. (2024), para garantizar la conservación de los compuestos bioactivos. Se procedió posteriormente a retirar cuidadosamente las cáscaras, evitando la inclusión de la parte blanca que puede conferir un toque amargo. Las ralladuras fueron colocadas en el tarro limpio y seco, sobre las cuales se vertió el aceite vegetal hasta cubrirlas completamente. El recipiente se cerró herméticamente y fue agitado ligeramente para conseguir una mezcla homogeneizada. Posteriormente, se colocó el recipiente en una olla con agua caliente, del modo que el nivel de agua no pasase a la altura del recipiente.

El conjunto se calentó mediante la técnica de baño maría durante aproximadamente 60 minutos a fuego medio-bajo, evitando la ebullición (Brah et al., 2024). El proceso consistía en extraer los compuestos aromáticos naturales de la cáscara que posteriormente se transvasaban al aceite, obteniendo un aceite con aroma fresco obtenido mediante el método en frío con cáscara de lima, de aroma agrio y fresco. Debido a que los colorantes alimentarios suelen ser inestables y se modifican durante el procesamiento (Silva et al., 2022)- Posteriormente se aplicaba el método de filtrado de gasa o papel de filtro, incorporándose el aceite filtrado en un frasco oscuro y conservándolo en un lugar fresco sin que estuviera expuesto a la luz, lo que garantizaba la conservación de su aroma y calidad (Zhao et al., 2023). El resultado final era una esencia con aroma natural, suave y persistente, apta para aplicaciones en productos artesanales, cosméticos o alimentarios (Martínez-Zamora et al., 2023).

Una vez obtenido el pigmento de *Syzygium cumini* y de la esencia de limón (*Citrus limón*), se procedió a la formulación del marcador natural. Para ello, se mezclaron ambos extractos en proporciones volumétrica 3:1 (color: aroma) oportunamente fijadas, con la finalidad de equilibrar el grado de intensidad del color y la frescura del aroma (Mohd et al., 2021). La mezcla se homogenizó lentamente por 10 minutos aproximadamente, de forma continua, hasta alcanzar una textura uniforme. Entonces, se añadió 5 % de etanol al 70 % como solvente natural para mejorar la viscosidad, asegurando que la tinta tuviese suficiente fluidez para aplicarse a la formulación del marcador. En esta fase, se llevaban a cabo ensayos para ajustar la consistencia y obtener un trazo suave y uniforme, lo que concuerda con Negi (2025), quien resalta la importancia de adaptar la formulación de pigmentos naturales a las propiedades funcionales del producto final. Finalmente, ajustada la tinta hasta conseguir la textura deseada, se procedía a filtrarla y almacenarla en envases herméticos, protegidos de la luz directa. Antes del envasado final se aplicaron pruebas de control de calidad, revisando el color, la homogeneidad y la durabilidad (Sayonara et al., 2025).

Los resultados arrojaron que el marcador natural presenta un color intenso, persistente aroma a cítricos y rendimiento similar a los marcadores sintéticos, aunque con la ventaja de estar hecho con materiales biodegradables y no perjudiciales (Wong-Paz et al., 2020; Rosa et al., 2024).

RESULTADOS

La extracción realizada con los frutos maduros *Syzygium cumini* da lugar a un pigmento de tono oscuro, que debido a su profundidad, es más fácil de evidenciar en el tono violáceo fuerte repleto de las antocianinas contenidas en la pulpa, todo ello observándose a través del líquido filtrado que, por cierto, presentaba un alto nivel de densidad de color siendo muy intensa en las muestras más maduras, el cual, efectivamente, pone de manifiesto que el desarrollo del fruto afecta directamente a la concentración de pigmentos (Koop et al., 2021; do Carmo Brito et al., 2017; Sayonara et al., 2025). El extracto final, además de estabilidad visual, también se presentaba con homogeneidad, por lo que podría ser fácilmente aplicado como colorante natural (Tena & Asuero, 2022; León et al., 2015).

La extracción de la esencia de limón que se realizó sobre la cáscara utilizando el método de baño maría da lugar a un aceite esencial transparente y exhibe un brillo que se demostraba en cada fase del proceso, donde, en las primeras etapas, ya se emitía un aroma que era percibido pues se liberaban todos los compuestos volátiles de la cáscara (Rahmat Budiarto et al., 2024; Huang et al., 2025). Al final del proceso la esencia mantenía el perfume cítrico fuerte y duradero, dejando al margen el encontrarse con alguna nota amarga, por lo que se podía concluir que la temperatura de operación fue correctamente utilizada conservando las propiedades organolépticas (Brah et al., 2024; Valarezo et al., 2025; Zhao et al., 2023).

Combinando los dos extractos, el pigmento del *Syzygium cumini* y la esencia de limón, se logró un resultado satisfactorio. El marcador, preparado utilizando esta mezcla, presentaba un color verde brillante, homogéneo y una fragancia natural, proporcionando así una experiencia sensorial completamente nueva (Negi, 2025; Mohd et al., 2021). La tonalidad se mantuvo en condiciones estables en pruebas de escritura y exposición a la luz indirecta, y la fragancia se conservó en perfecto estado durante varios días, conservando su perfumada nota. Con estos resultados se pone de manifiesto que la integración de ingredientes naturales no solo es posible, sino también efectiva si se quiere reemplazar aditivos sintéticos que se usan con frecuencia en la fabricación de marcadores (Rosa et al., 2024).

Por otro lado, los ensayos realizados en función de las cantidades que se utilizan de pigmento y esencia permitieron concluir que la composición óptima está relacionada con una aproximación de 3:1, en la que el color es el factor predominante sin que la esencia interfiera en la sinuosidad o en la consistencia del producto (Ferreira et al., 2021; Wong-Paz et al., 2020). La aplicación del marcador en el papel producía un trazo continuo y sin obstrucción, lo que permite concluir que también existe compatibilidad entre ambos compuestos (Molina et al., 2023).

Bajo la dimensión de sostenibilidad, la extracción resulta ser positiva. El *Syzygium cumini* se ha consolidado en esta investigación como una fuente de pigmento natural, obteniéndose con facilidad y a bajo coste sin apenas generar residuos (do Carmo Brito et al., 2017; Sayonara et al., 2025). Y, de igual forma, el aprovechamiento de las cáscaras de limón (subproducto típico de la industria alimentaria) invita a considerar positivamente esta propuesta, ya que favorece la economía circular mientras reduce la pérdida de materia prima (Valarezo et al., 2025; Rahmat Budiarto et al., 2024).

La evaluación sensorial realizada con el apoyo de 15 evaluadores demostró que el marcado formulado en la investigación es muy similar a la intensidad del color del marcador sintético lo que concluye que el tono obtenido mediante el colorante de *Syzygium cumini* alcanza niveles de aceptación similares a los marcadores comerciales. Con relación a la fluidez del trazo el marcado ecológico está por debajo en puntuación de otros marcadores que están en el mercado, considerando para próximas formulaciones un reajuste de las cantidades. Con relación al aroma refleja una ventaja sensorial sobre el sintético gracias a la adición de la esencia de limón. La suma de los resultados obtenidos constata el potencial que estos compuestos naturales tienen como alternativas ecológicas para el uso en el sector de los artículos escolares, con implicaciones medioambientales, económicas y estéticas (Negi, 2025; Rosa et al., 2024; Wong-Paz et al., 2020).

DISCUSIÓN

Los resultados demostrados, por lo tanto, nos revelan que *Syzygium cumini* junto con la cáscara de limón presentan, para su utilización en aplicaciones industriales sostenibles, propiedades químicas que les hacen válidos. En el caso del pigmento, su concentración significativa de antocianinas, taninos y flavonoides le confiere una coloración muy intensiva y duradera, convirtiéndolo en un sustituto alternativo a los colorantes sintéticos, cuya producción tiene un alto impacto ambiental (Koop et al., 2021; Tena & Asuero, 2022; do Carmo Brito et al., 2017). Este resultado es consistente con los trabajos más recientes que dan cuenta del uso de pigmentos vegetales para formulaciones de biotina y cosméticos naturales, por su estabilidad y su bajo nivel de toxicidad (Sayonara et al., 2025; León et al., 2015).

Por otro lado, el aceite esencial de limón ha mostrado que sus principales compuestos volátiles limoneno y *citral* se conservan cuando se aplica una extracción controlada a baja temperatura (Rahmat Budiarto et al., 2024; Huang et al., 2025). La preservación de estas moléculas es esencial, puesto que se relacionan con la intensidad del aroma y su durabilidad. Este comportamiento vuelve a poner de manifiesto la necesidad del control de temperatura y cronometraje, que afectan a la calidad final del extracto obtenido (Brah et al., 2024; Valarezo et al., 2025).

En la fase de integración, el equilibrio entre el pigmento y la esencia fue determinante para obtener un marcador funcional y sensorialmente atractivo. Una proporción excesiva de aroma podría alterar la densidad o la velocidad de secado, mientras que una concentración insuficiente de pigmento disminuiría la intensidad visual. El desarrollo de pruebas empíricas permitió encontrar una relación

adecuada que garantiza uniformidad en el trazo, buena adherencia al papel y una experiencia olfativa agradable (Ferreira et al., 2021; Negi, 2025).

Más allá de los aspectos técnicos, este proyecto propone una visión innovadora hacia la producción responsable de materiales escolares. La combinación de un pigmento vegetal y una esencia natural abre una línea de investigación que une la química verde con el diseño funcional de productos cotidianos (Wong-Paz et al., 2020; Rosa et al., 2024). Además, la posibilidad de reproducir este proceso a escala doméstica o semi industrial plantea un enfoque educativo que promueve la conciencia ambiental y la creatividad (Molina et al., 2023).

Este artículo también genera un interesante análisis de las implicaciones de los recursos que nos provee la naturaleza en el propio procesamiento industrial. Si bien la síntesis química ha dominado el mercado durante años, la inquietud por la salud y el medio ambiente ha llevado a un regreso a fuentes limpias y biodegradables. Como tal, el *Syzygium cumini* y el limón son una opción interesante no solo por la disponibilidad de estas materias, sino también por la diversidad de compuestos bioactivos que presentan (Mohd et al., 2021; Rahmat Budiarto et al., 2024; Valarezo et al., 2025).

Finalmente, los datos obtenidos son unos primeros pasos en la línea de investigación futura que tiene por objetivo mejorar la estabilidad del pigmento frente a las condiciones de luz y humedad de la atmósfera, así como la fijación del aroma durante el almacenamiento (Zhao et al., 2023; Sayonara et al., 2025). De forma complementaria, se hace un llamamiento para recurrir a pruebas de tipo fisicoquímico para la evaluación del marcador, como ensayos de pH, viscosidad y compatibilidad con distintos tipos de papeles para escritura manual (Tena & Asuero, 2022; Ferreira et al., 2021).

CONCLUSIÓN

La extracción de pigmento natural de *Syzygium cumini* y esencia de limón para la elaboración de un marcador ecológico, demostró que es una alternativa viable que logra el objetivo y funcionalidad, de igual manera se comprobó que con materias primas de fácil acceso se puede extraer los componentes necesarios para la formulación del marcador, pero también que es necesario controlar otras variables que se logran con equipos sofisticados de medición.

Por otro lado, se logró obtener un pigmento de tonalidad intensa y duradera, lo que demuestra la eficacia de la técnica del baño maría como método de extracción para preservar los compuestos activos del pigmento, además, la adición de la esencia de limón ha aportado un aroma fresco y cítrico que proporciona una experiencia sensorial agradable durante su uso.

El marcador ecológico, elaborado con pigmento a base de *Syzygium cumini* y esencia de limón, presentó un comportamiento técnico y sensorial altamente satisfactorio, lo que confirma la viabilidad de utilizar compuestos naturales para reemplazar colorantes y fragancias sintéticas. Las pruebas sensoriales mostraron que la intensidad del color alcanzó valores cercanos a los de los productos comerciales, mientras que la fluidez del trazo, aunque algo menor, puede optimizarse mediante ajustes en la viscosidad y la cantidad de disolvente natural utilizado. Su agradable aroma es excepcional, donde el marcador natural fue ampliamente superado por el sintético, añadiendo un valor diferencial y reforzando su aceptación por parte de los usuarios.

En este contexto, la extracción de pigmentos naturales y esencias de frutas permite aprovechar los recursos naturales disponibles en la agricultura y transformarlos en productos de valor añadido. En

lugar de utilizar pigmentos y aromas sintéticos, que pueden tener efectos negativos para la salud y el medio ambiente, la ingeniería agroindustrial promueve la extracción de compuestos naturales que ofrecen beneficios sensoriales y estéticos sin comprometer la seguridad y la sustentabilidad. Así mismo contribuye al desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías para mejorar la eficiencia y rendimiento en los sistemas de procesamiento más eficientes, la optimización de los parámetros de extracción, el estudio de las propiedades y características de los compuestos obtenidos, y la búsqueda de nuevas fuentes naturales de pigmentos y aromas.

Para finalizar este proyecto de investigación, es parte fundamental para próximos estudios enfocados a la optimización de las propiedades fisicoquímica de los pigmentos como (espectrofotometría UV-Vis) y de las esencias (cromatografía de gases y espectrometría de masa), así como análisis de factores ambientales como luz, humedad y temperatura. De igual manera, se recomienda el desarrollo de pruebas de desempeño técnico y sensorial a largo plazo que fortalezcan la validación científica del producto y consoliden su aplicación comercial dentro del marco de la innovación sostenible.

REFERENCIAS

- Brah, A. S., Collins Obuah, & Adokoh, C. K. (2024). Innovations and modifications of current extraction methods and techniques of citrus essential oils: A review. *Deleted Journal*, 6(9). <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06100-z>
- Budiarto, R., Khalisha, A., Sari, D. N., Ujilestari, T., Wahyono, T., Faiz, A., Adli, D. N., Lusiana, E. D., Sitaresmi, P. I., & Sholikin, M. M. (2024). Antioxidant properties of lemon essential oils: A meta-analysis of plant parts, extraction methods, dominant compounds, and antioxidant assay categories. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40538-024-00621-w>
- Camacho-Romero, O. I., Melgarejo-Gómez, S., & De-la-Rosa-Torres, C. (2017). Extracción y evaluación de los metabolitos secundarios de extractos etéreos del fruto *Syzygium cumini* (Jambol). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(1), 113. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i1.3090>
- do Carmo Brito, B. de N., da Silva Pena, R., Santos Lopes, A., & Campos Chisté, R. (2017). Anthocyanins of Jambolão (*Syzygium cumini*): Extraction and pH-dependent color changes. *Journal of Food Science*, 82(10), 2286–2290. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13847>
- Ferreira, B., Magalhães, G. L., Soares, M., & Caliari, M. (2021). Produção de corante natural extraído de jambolão (*Syzygium cumini*). *Research, Society and Development*, 10(2), e27410212600. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12600>
- Huang, J., Xu, X., Liu, C., & Liu, L. (2025). Exploring the potential of lemon peel extracts in cosmetics: Chemical composition and bioactive properties. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 35. <https://doi.org/10.4014/jmb.2412.12042>
- Wong-Paz, J. E., Aguilar-Zárate, P., Veana, F., & Muñiz-Márquez, D. B. (2020). Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 23.
- Koop, B. L., Knapp, M. A., Luccio, M. D., Pinto, V. Z., Tormen, L., Valencia, G. A., & Monteiro, A. R. (2021). Bioactive compounds from jambolan (*Syzygium cumini* (L.)) extract concentrated by ultra- and nanofiltration: A potential natural antioxidant for food. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(1), 90–97. <https://doi.org/10.1007/s11130-021-00878-8>
- León, M., Surumay, Y., Marquina-Chidsey, G., & Arias, D. (2015). Desarrollo de un producto cosmético utilizando un pigmento natural extraído de la fruta *Syzygium cumini* (L) Skeels. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 30(1), 131–136. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-40652015000100013&script=sci_abstract

- Lidón, F. C., & Silvestre, M. M. A. S. (2010). *Princípios de alimentação e nutrição humana*. Escolar Editora.
- Martínez-Zamora, L., Cano-Lamadrid, M., Artés-Hernández, F., & Castillejo, N. (2023). Flavonoid extracts from lemon by-products as a functional ingredient for new foods: A systematic review. *Foods*, 12(19), 3687. <https://doi.org/10.3390/foods12193687>
- Mohd, Liew, B., Talib, R. A., Zakaria, R., & Kamarudin, S. H. (2021). Novel mangosteen-leaves-based marker ink: Color lightness, viscosity, optimized composition, and microstructural analysis. *Polymers*, 13(10), 1581. <https://doi.org/10.3390/polym13101581>
- Molina, A. K., Corrêa, R. C. G., Prieto, M. A., Pereira, C., & Barros, L. (2023). Bioactive natural pigments' extraction, isolation, and stability in food applications. *Molecules*, 28(3), 1200. <https://doi.org/10.3390/molecules28031200>
- Negi, A. (2025). Natural dyes and pigments: Sustainable applications and future scope. *Sustainable Chemistry*, 6(3), 23. <https://doi.org/10.3390/suschem6030023>
- Núñez-Gómez, V., Mateo, M. S., González-Barrio, R., & Periago, M. J. (2024). Chemical composition, functional and antioxidant properties of dietary fibre extracted from lemon peel after enzymatic treatment. *Molecules*, 29(1), 269. <https://doi.org/10.3390/molecules29010269>
- Renita, A. A., Gajaria, T. K., Sathish, S., Kumar, J. A., Lakshmi, D. S., Kujawa, J., & Kujawski, W. (2023). Progress and prospective of the industrial development and applications of eco-friendly colorants: An insight into environmental impact and sustainability issues. *Foods*, 12(7), 1521. <https://doi.org/10.3390/foods12071521>
- Rosa, A. da, Hoscheid, J., Garcia, V. O., & Silva, C. da. (2024). Phytochemical extract from *Syzygium cumini* leaf: Maximization of compound extraction, chemical characterization, antidiabetic and antibacterial activity, and cell viability. *Processes*, 12(10), 2270. <https://doi.org/10.3390/pr12102270>
- Sayonara, S., Rodrigues, T. M., Medeiros, R., Fernandes, S. K., Passos, T. S., & Canindé, F. (2025). Oat-grape beverages enriched with anthocyanins from jambolan (*Syzygium cumini*): A novel plant-based probiotic functional food. *Food Chemistry*, 144673. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144673>
- Silva, M. M., Reboredo, F. H., & Lidón, F. C. (2022). Aditivos colorantes alimentarios: Resumen sinóptico de sus propiedades químicas, aplicaciones en productos alimenticios y efectos secundarios para la salud. *Foods*, 11, 379. <https://doi.org/10.3390/foods11030379>
- Tena, N., & Asuero, A. G. (2022). Up-to-date analysis of the extraction methods for anthocyanins: Principles of the techniques, optimization, technical progress, and industrial application. *Antioxidants*, 11(2), 286. <https://doi.org/10.3390/antiox11020286>
- Valarezo, E., Paucar-Costa, J., Morales-Guamán, B., Caraguay-Martínez, A., Jaramillo-Fierro, X., Cumbicus, N., & Meneses, M. A. (2025). Chemical and biological study of the essential oil isolated from fruits of *Citrus × limonia*. *Plants*, 14(5), 705. <https://doi.org/10.3390/plants14050705>
- Valarezo, E., Toledo-Ruiz, L., Coque-Saetama, W., Caraguay-Martínez, A., Jaramillo-Fierro, X., Cumbicus, N., & Meneses, M. A. (2025). Chemical composition, enantiomeric distribution and antimicrobial, antioxidant and antienzymatic activities of essential oil from leaves of *Citrus × limonia*. *Molecules*, 30(4), 937. <https://doi.org/10.3390/molecules30040937>
- Villalobos-González, W., Sibaja-Brenes, J. P., Mora-Barrantes, J. C., & Álvarez-Garay, B. (2021). Evaluación del impacto ambiental en una industria gráfica, que utiliza impresión litográfica tipo "offset". *Uniciencia*, 35(1), 367–383. <https://doi.org/10.15359/ru.35-1.23>
- Zhao, Q., Ge, Q., Shang, Y., Zheng, M., Sun, X., Bao, S., Fang, Y., Zhang, Z., & Ma, T. (2023). Eating with peel or not: Investigation of the peel consumption situation and its nutrition, risk analysis, and dietary advice in China. *Food Research International*, 170, 112972. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112972>

CONFLICTO DE INTERÉS

No posee conflictos de intereses.

FINANCIAMIENTO

El artículo no tiene financiamiento

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD AUTORAL

Silvia Juliana Correa Palma, Alex Johan Rojas-Barragán, Luis Miguel Rodríguez Badillo: Conceptualización, redacción, validación, experimentación y edición borrador inicial.

Jacqueline Chávez Galvis, coordinación de las actividades, control de avance, revisión del documento y aprobación final de la versión para publicación.