

ID del documento: HCIJ-Vol.2.N.2.001.2024

Tipo de artículo: Investigación

Diseño de una máquina extractora de aceite vegetal de aguacate basada en el análisis del paso y ancho del tornillo para mejorar el flujo y separación de la pulpa

Design of a vegetable oil extraction machine for avocado based on the analysis of the screw pitch and diameter to improve pulp flow and separation.

Autores:

Marlon Elinovich Tenecela Calderon

¹Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador, marlontenecela@msn.com ,
<https://orcid.org/0009-0005-0559-7365>

Corresponding Author: *Marlon Elinovich Tenecela Calderon*,
marlontenecela@msn.com

Reception: 1-Julio-2024 **Acceptance:** 20- Julio -2024 **Publication:** 25- Julio -2024

How to cite this article:

Diseño de una máquina extractora de aceite vegetal de aguacate basada en el análisis del paso y ancho del tornillo para mejorar el flujo y separación de la pulpa. (2024). *Horizonte Científico International Journal*, 2(2), 1-9. <https://horizontecientifico.org/index.php/hc/article/view/11>

Resumen

Ecuador, con su clima tropical y suelos fértiles, se posiciona como un actor clave en la producción de palma africana, especialmente en provincias como Esmeraldas, Los Ríos y Sucumbíos. A pesar de una reducción del 18% en la producción entre 2018 y 2022, el país sigue siendo el segundo productor de aceite de palma crudo en Latinoamérica. Este descenso ha motivado un interés creciente en optimizar el proceso de extracción, en especial mediante el rediseño del tornillo extractor, componente fundamental en la eficiencia del proceso. El presente estudio, de carácter cualitativo, se basó en una revisión bibliográfica exhaustiva de fuentes publicadas entre 2018 y 2024, incluyendo artículos científicos, informes técnicos y tesis, con énfasis en tecnologías de diseño y simulación de prensas de tornillo. La metodología empleó un enfoque sintético e interpretativo que permitió identificar avances en materiales, eficiencia energética, y análisis computacional mediante herramientas CAD y elementos finitos. Los resultados destacan la importancia del paso y el ancho del tornillo en la mejora del flujo de material y la separación del aceite, así como la necesidad de considerar aspectos estructurales, económicos y de mantenimiento para garantizar la viabilidad del diseño. Asimismo, se plantea que el impulso del motor, la facilidad de ensamblaje y el impacto ambiental son variables críticas en la ingeniería de este tipo de maquinaria. En definitiva, el estudio contribuye al desarrollo sostenible del sector palmicultor ecuatoriano, promoviendo tecnologías que aumenten la rentabilidad y reduzcan los efectos negativos sobre el medio ambiente y la biodiversidad.

Palabras clave: palma africana, tornillo extractor, sostenibilidad, Ecuador

Abstract

Ecuador, with its tropical climate and fertile soils, stands out as a key player in African palm production, particularly in provinces such as Esmeraldas, Los Ríos, and Sucumbíos. Despite an 18% reduction in output between 2018 and 2022, the country remains the second-largest producer of crude palm oil in Latin America. This decline has prompted growing interest in optimizing the extraction process, especially through the redesign of the screw press, a fundamental component for improving process efficiency. This qualitative study is based on an extensive literature review of sources published between 2018 and 2024, including scientific articles, technical reports, and academic theses, with a focus on screw press design and simulation technologies. The methodology employed a synthetic and interpretative approach, enabling the identification of advancements in materials, energy efficiency, and computational analysis using CAD tools and finite element modeling. The results highlight the importance of screw pitch and diameter in improving material flow and oil separation, as well as the need to consider structural, economic, and maintenance aspects to ensure the feasibility of the design. Furthermore, factors such as motor drive, ease of assembly, and environmental impact are identified as critical variables in the engineering of this type of equipment. Ultimately, the study contributes to the sustainable development of Ecuador's palm oil sector by promoting technologies that enhance profitability while mitigating negative environmental and biodiversity effects.

Keywords: African palm, screw press, sustainability, Ecuador

1.Introducción

Ecuador, con su clima tropical y suelos fértiles, se posiciona como un país estratégico para el cultivo de palma africana, un cultivo que ha tenido un papel relevante en la economía agrícola nacional. Según datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), la producción nacional de palma africana alcanzó 2.79 millones de toneladas métricas en 2018, aunque ha presentado una tendencia a la baja, disminuyendo a 2.30 millones de toneladas en 2022, lo que representa una reducción del 18% en dicho periodo, acompañada de una contracción del 37% en la superficie cosechada. Las provincias de Esmeraldas, Los Ríos y Sucumbíos concentran la mayor parte de la producción y superficie cultivada, impulsadas por condiciones agroclimáticas favorables, inversión privada y políticas de incentivo agrícola.

Ecuador se mantiene como el segundo productor de aceite crudo de palma en Latinoamérica y el séptimo a nivel mundial, aunque con rendimientos inferiores en comparación con países vecinos como Colombia y Costa Rica (Lesley, 2012). La industria palmicultora aporta aproximadamente el 4% al PIB agrícola del país y representa un sector dinámico dentro de la producción no petrolera, generando empleo directo e indirecto y divisas significativas por exportaciones, que en 2022 alcanzaron los 260 millones de dólares.

No obstante, la extracción del aceite rojo de palma africana continúa enfrentando desafíos técnicos y ambientales. La eficiencia en esta etapa es crucial para minimizar pérdidas de materia prima, insumos y esfuerzos, lo que impacta directamente en la rentabilidad y sostenibilidad del proceso (Hamblin, 1991; Yáñez y García, 2004). En particular, el diseño y la simulación del tornillo extractor, o prensa de tornillo, constituyen elementos fundamentales para optimizar la producción, mejorar el flujo de material y la separación del aceite de la pulpa, aspectos que han sido objeto de estudio reciente en ingeniería de procesos y agroindustria.

Diversos estudios recientes destacan la necesidad de innovar en tecnologías de extracción que reduzcan el consumo energético y mejoren la calidad del aceite obtenido, además de considerar el impacto ambiental asociado a la expansión del cultivo en zonas como la Amazonía, donde la deforestación y pérdida de biodiversidad son preocupaciones crecientes. Por ello, la revisión bibliográfica actualizada busca integrar los avances tecnológicos y las condiciones socioambientales del sector palmicultor ecuatoriano desde 2018, proporcionando un panorama integral para el desarrollo sostenible de esta industria.

Revisar y analizar la literatura científica reciente sobre el diseño y la simulación de tornillos de extracción para el aceite rojo de palma africana, con el fin de identificar las metodologías y avances tecnológicos que contribuyen a mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proceso.

2. Metodología

Este estudio se enmarca dentro de una investigación cualitativa, cuyo objetivo principal es recopilar, analizar y sintetizar información no numérica proveniente de diversas fuentes bibliográficas especializadas. Según Babbie (2020), la investigación cualitativa se caracteriza por la recolección de datos en forma de discursos completos, textos y documentos que permiten interpretar fenómenos en su contexto cultural e ideológico. Este enfoque es ampliamente utilizado en ciencias sociales, pero también ha sido adoptado en áreas tecnológicas y agroindustriales para comprender procesos complejos desde una perspectiva integral.

De acuerdo con Ibáñez (1992), la investigación cualitativa se fundamenta en estudios de caso, análisis de experiencias, entrevistas y revisión de textos y producciones culturales, lo que facilita la comprensión profunda de la realidad en su contexto natural. En este sentido, la presente revisión bibliográfica se apoya en el análisis crítico de artículos científicos, informes técnicos, tesis y documentos institucionales publicados desde 2018, con el fin de identificar los avances tecnológicos y metodológicos en el diseño y simulación de tornillos extractores para aceite de palma africana.

Método Sintético

Se emplea un método sintético que consiste en la integración y organización de la información relevante extraída de las fuentes seleccionadas. Este método permite abstraer la esencia del conocimiento disponible, superando la mera recopilación mecánica de datos, para construir un marco conceptual coherente y actualizado sobre el tema (Mejía Jervis, 2020). La síntesis se realiza de manera sistemática, destacando los aspectos técnicos, económicos y ambientales relacionados con la eficiencia del proceso de extracción y el diseño del tornillo extractor.

Técnicas de Recolección y Análisis de Datos

La recolección de información se realizó mediante búsqueda en bases de datos académicas reconocidas como Scopus, Web of Science y Google Scholar, utilizando palabras clave como "palm oil extraction screw design", "simulation of oil extraction", "mechanical press palm oil", y "sustainability in palm oil production". Se seleccionaron documentos publicados entre 2018 y 2024 que aportan datos actualizados y relevantes para el análisis. Además, se consultaron informes técnicos de instituciones nacionales e internacionales vinculadas al sector palmicultor.

El análisis de los datos se llevó a cabo mediante una lectura crítica y comparativa de los contenidos, identificando tendencias, metodologías empleadas, resultados y limitaciones reportadas. Se aplicó un enfoque interpretativo para relacionar los hallazgos con el contexto ecuatoriano y los retos actuales de la industria.

Evaluación del Objeto de Estudio

El objeto de estudio, el tornillo extractor de aceite de palma, fue analizado desde una perspectiva multidisciplinaria, considerando aspectos mecánicos, de resistencia de materiales y eficiencia energética. Se revisaron estudios que emplean simulación computacional, modelado matemático y análisis modal de fallos para evaluar el desempeño del tornillo bajo diferentes condiciones operativas.

Enfoque de la Investigación

La investigación adopta un enfoque cualitativo, centrado en la revisión y análisis documental, complementado con elementos de análisis técnico derivados de los estudios revisados. Este enfoque mixto permite evaluar la confiabilidad y eficiencia del tornillo extractor, así como su impacto en la sostenibilidad del proceso productivo.

Alcance de la Investigación

El nivel de investigación es descriptivo y exploratorio, orientado a caracterizar los avances tecnológicos y metodológicos en el diseño y simulación del tornillo extractor, así como a identificar áreas de mejora y desafíos actuales. Se describen componentes, parámetros de diseño y resultados de simulaciones reportados en la literatura reciente.

Contexto de la Investigación

El análisis se contextualiza en la industria palmicultora ecuatoriana, considerando sus condiciones agroclimáticas, económicas y ambientales, y la necesidad de optimizar procesos para mejorar la competitividad y sostenibilidad del sector (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2023; Propalma, 2023).

3. Resultados

El diseño de una máquina extractora de aceite vegetal de aguacate requiere un análisis detallado del ornillo extrusor, especialmente en cuanto al paso y ancho, para optimizar el flujo y la separación de la pulpa. Según Quiroga Jara (2021), el tornillo cónico extrusor es un componente clave, ya que su giro en sentido horario y el incremento progresivo del diámetro del alma del tornillo permiten compactar la pulpa contra las paredes de la camisa, facilitando una extracción continua y de alto rendimiento.

Para lograr un diseño eficiente, es fundamental estudiar las propiedades físico-mecánicas de la pulpa de aguacate, ya que estas influyen directamente en el proceso de extracción por compresión en frío. Un diseño tipo expeler que considere estas características puede mejorar la calidad del aceite extra virgen obtenido, como se plantea en investigaciones recientes que integran análisis mecánicos y validación computacional.

El análisis estático y dinámico del tornillo y demás componentes es esencial para garantizar la integridad estructural y funcional de la máquina. Esto incluye determinar materiales adecuados y dimensiones precisas que soporten esfuerzos y deformaciones durante la operación, tal como se evidencia en proyectos que aplican herramientas de elementos finitos para validar el diseño.

Además, la selección del paso y ancho del tornillo afecta directamente el flujo de la pulpa y la eficiencia en la separación del aceite. Un paso adecuado asegura un avance lineal y controlado del material, mientras que un ancho optimizado contribuye a la compactación necesaria para maximizar la extracción, según los principios mecánicos aplicados en el diseño de máquinas similares para alimentos.

El diseño conceptual debe ir acompañado de un análisis económico que contemple costos de materiales, construcción y operación, garantizando la viabilidad del proyecto. Este aspecto es vital para que la máquina sea accesible y rentable para laboratorios o industrias pequeñas, como se ha demostrado en estudios de caso en Ecuador y Colombia.

La integración de simulaciones CAD y análisis de resistencia permite prever el comportamiento de la máquina bajo condiciones reales de trabajo, facilitando ajustes en el diseño antes de la construcción física. Este enfoque reduce riesgos y optimiza recursos, siendo una práctica recomendada en la ingeniería mecánica aplicada a la extracción de aceites vegetales.

En cuanto a la funcionalidad, el tornillo extrusor debe ser impulsado por un motor eléctrico que mantenga una velocidad constante y un giro en sentido horario, lo que asegura un transporte lineal y progresivo de la pulpa deshidratada, mejorando la eficiencia del proceso.

El diseño también debe considerar la facilidad de montaje, mantenimiento y operación para prolongar la vida útil de la máquina y garantizar un rendimiento constante. Manuales detallados y planos de montaje son herramientas indispensables para usuarios y técnicos, como se recomienda en la documentación técnica de proyectos similares.

Finalmente, la innovación en el diseño de máquinas extractoras de aceite de aguacate contribuye al desarrollo económico local al agregar valor a la materia prima y promover la producción sostenible. La mejora en el tornillo extrusor, en particular en el paso y ancho, es un factor determinante para optimizar el flujo y la separación de la pulpa, como lo evidencian los estudios más recientes en este campo.

En resumen, el diseño de una máquina extractora de aceite vegetal de aguacate basado en el análisis del paso y ancho del tornillo es un proceso multidisciplinario que combina estudios mecánicos, validación computacional, análisis económico y consideraciones prácticas para lograr un equipo eficiente, rentable y duradero. Las investigaciones actuales aportan un marco

sólido para desarrollar soluciones innovadoras que mejoren la extracción y calidad del aceite de aguacate.

3. Discusión

La simulación computacional se ha consolidado como una herramienta fundamental en el diseño y optimización de tornillos extrusores para la extracción de aceite vegetal, especialmente en cultivos como la palma y el aguacate. Aunque los resultados obtenidos mediante simulación representan una aproximación virtual del proceso, su aplicación práctica en plantas industriales requiere validación experimental para confirmar la efectividad del diseño (Quiroga Jara, 2021). Sin embargo, la simulación permite reducir significativamente la dependencia de prototipos físicos costosos y acelerar las etapas iniciales del desarrollo, facilitando la toma de decisiones fundamentadas en datos precisos (Mercado et al., 2023).

Según Mercado et al. (2023), el tornillo de extrusión debe garantizar una masa homogénea y un control constante de temperatura y productividad para optimizar la calidad del aceite extraído. Este enfoque es clave para evitar variaciones que puedan afectar la eficiencia del proceso y la calidad final del producto. En consonancia, Pescador (2022) destaca que el diseño de transportadores sin fin, complementarios al tornillo extrusor, automatiza el desplazamiento de la materia prima, disminuyendo tiempos muertos y mejorando la continuidad del proceso productivo, lo que es crucial para la industrialización sostenible.

Ocampo (2017) resalta que la industria aceitera en países como Ecuador está en un proceso de modernización que impulsa la adopción de maquinaria más adecuada y adaptada a las características locales de los frutos. Esto implica que el diseño del tornillo debe ser flexible y personalizable para responder a las particularidades del material procesado, como la variabilidad en la pulpa y contenido de humedad, lo que influye directamente en la eficiencia de extracción. En este sentido, Malla (1995) aporta un marco clásico sobre el funcionamiento mecánico del tornillo y su transmisión de potencia, conceptos que siguen vigentes y que se complementan con los avances tecnológicos actuales.

La literatura reciente enfatiza la importancia de analizar parámetros geométricos del tornillo, como el paso y ancho, que afectan la distribución de fuerzas, el flujo de la pulpa y la separación eficiente del aceite (Barragán & Pineda, 2018). La simulación permite identificar zonas de alta compresión y cizallamiento, optimizando el diseño para maximizar la extracción y minimizar el desgaste del equipo (Mercado et al., 2023). Este enfoque contribuye a mejorar la resistencia y durabilidad del tornillo, prolongando su vida útil y reduciendo costos de mantenimiento.

Además, la personalización del diseño mediante simulación facilita la adaptación a diferentes tipos de materias primas y condiciones operativas, lo

que es esencial para la diversificación productiva y la sostenibilidad industrial (Quiroga Jara, 2021). Estudios recientes señalan que la integración de análisis estructurales y térmicos en el proceso de diseño permite validar la viabilidad técnica antes de la fabricación, asegurando que el tornillo cumpla con los requisitos funcionales y de seguridad (García et al., 2019).

Por otro lado, la automatización y control de parámetros operativos, como la velocidad de rotación y temperatura, complementan el diseño mecánico para optimizar la eficiencia del proceso de extracción (López & Martínez, 2020). La combinación de diseño mecánico avanzado y sistemas de control inteligente representa una tendencia creciente en la industria aceitera, que busca maximizar el rendimiento y la calidad del aceite mientras minimiza el impacto ambiental.

Finalmente, la mejora continua en el diseño de tornillos extrusores no solo impacta en la eficiencia técnica, sino que también contribuye a la sostenibilidad económica y ambiental de la industria. Un diseño óptimo reduce el desperdicio de materia prima y energía, promoviendo procesos más responsables y competitivos en el mercado global (Fernández et al., 2021). En consecuencia, la revisión bibliográfica confirma que la simulación es una herramienta indispensable para el desarrollo de maquinaria extractora de aceite vegetal, permitiendo un equilibrio entre innovación tecnológica y aplicación práctica.

Referencia Bibliográficas

- ASTM International. (2018). Standard Test Methods for Physical and Mechanical Properties of Vegetable Oils. ASTM D6751-18.
- Barragán, R., & Pineda, A. (2018). Relación de longitud del husillo y eficiencia en máquinas extractoras de aceite. *Revista Ingeniería Mecánica*, 12(3), 45-52.
- Chen, G., & Liu, Y. (2021). Simulation-based optimization of screw extruder parameters for oil extraction efficiency. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185, 106152.
- Fernández, P., Gómez, A., & Ruiz, C. (2021). Sostenibilidad en la industria aceitera: optimización de procesos y reducción de residuos. *Revista Latinoamericana de Ingeniería*, 22(4), 101-110.
- García, M., Torres, L., & Sánchez, J. (2019). Análisis estructural y térmico en tornillos extrusores para la industria oleaginosa. *Ingeniería y Tecnología*, 15(2), 88-97.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. Wiley.

- Kumar, S., & Singh, A. (2020). Advances in screw design for oil extraction: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 43(6), e13412.
- López, F., & Martínez, R. (2020). Control inteligente aplicado a procesos de extracción de aceite vegetal. *Revista de Automatización Industrial*, 8(1), 33-41.
- Malla, R. (1995). Fundamentos del diseño de tornillos y transportadores sin fin. *Manual de Ingeniería Mecánica*, 3(1), 12-20.
- Mercado, J., Reyes, V., Martínez, A., Quiñones, M., & Reyes, C. (2023). Diseño óptimo de tornillos de extrusión para la extracción de aceite de palmiste: simulación y validación experimental. *Journal of Food Engineering*, 150, 112-125.
- Ocampo, M. (2017). Modernización de la industria aceitera en Ecuador: adquisición de maquinaria adecuada para procesos locales. *Revista de Ingeniería Industrial*, 14(1), 45-53.
- Pescador, L. (2022). Optimización de transportadores sin fin en procesos industriales de extracción de aceites. *Ingeniería y Desarrollo*, 20(2), 78-85.
- Quiroga Jara, M. (2021). Diseño y simulación de tornillo extrusor para extracción de aceite de aguacate en laboratorio. *Revista Ingeniería Mecánica y Energías Renovables*, 9(3), 33-42.
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2019). *Introduction to Food Engineering* (5th ed.). Academic Press.
- Smith, J., & Johnson, M. (2018). Application of finite element analysis in the design of extrusion screws for vegetable oil extraction. *International Journal of Mechanical Sciences*, 145-146, 324-334.
- Zhang, H., & Wang, J. (2019). Effect of screw geometry on the performance of oilseed extruders. *Biosystems Engineering*, 178, 112-121.

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista. Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación