



Estudio comparativo de extracción y caracterización del aceite de aguacate, mediante procesos de: termobatido, enzimático, prensado hidráulico y expeller.

Comparative study of extraction and characterization of avocado oil, through processes of: thermobeating, enzymatic, hydraulic pressing and expeller.

Miroslav Gonzalo Alulema Cuesta ¹*; Joselin Patricia Estrada Gaybor ²; Kenia Doménicka Morocho Salazar ³

Recibido: 12/03/2024 – Aceptado: 10/06/2024 – Publicado: 01/07/2024

*Autor para la correspondencia.

Resumen.

El aguacate (*Persea americana* Mill.), es una materia prima rica en aceite, por lo cual su extracción y producción puede considerarse como una opción industrial, ya que se le atribuye varias propiedades beneficiosas para la salud. El objetivo de este trabajo fue realizar un estudio comparativo para la obtención de aceite de aguacate, variedad Hass, por cuatro métodos distintos (termobatido, enzimático, prensado hidráulico y por expeller), especificando diferencias significativas y determinando el mejor método en términos de rendimiento y calidad. La variable de rendimiento se calculó en base seca, siendo el método de Termobatido el que presenta el más alto porcentaje con 89,78%. A las muestras de aceite obtenido se les realizó pruebas fisicoquímicas como humedad, densidad, índice de acidez, índice de peróxido, índice de saponificación e índice de yodo, obteniéndose los mejores resultados en el método de termobatido, con excepción del índice de peróxido y cuyos valores fueron: 0.054%, 0.9039 g/mL, 3.13 g/100g, 78.87 meqO₂/kg, 190.06 mkOH/mg, 84.56cg/g respectivamente. Por otra parte, respecto a la composición de ácidos grasos se realizó Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC), donde el método de Prensado hidráulico generó los mejores valores, los cuales fueron: 23.57 g/100g, 64.29 g/100g, 12.14 g/100g, 0.48 g/100g, 11.65 g/100g, 61.07 g/100g, 21.00 g/100g y 1.26 g/100g para Ácidos Grasos Saturados, Monosaturados, Poliinsaturados, Omega 3, 6, 9, Acido Palmítico y Acido Esteárico, respectivamente. Finalmente se contrastó estos valores con datos experimentales de otras investigaciones junto a los de un aceite comercial, encontrándose valores cercanos a los reportados.

Palabras clave: Aguacate, termobatido, enzimático, prensado hidráulico, prensado por expulsor, cromatografía líquida de alta presión (HPLC), ácidos grasos.

Abstract.

Avocado (*Persea Americana* Mill.) is a raw material rich in oil, which is why its extraction and production can be considered an industrial option, since it is attributed several beneficial properties for health. The objective of this work was to carry out a comparative study to obtain avocado oil, Hass variety, by four different methods (thermobeating, enzymatic, hydraulic pressing and expeller), specifying significant differences and determining the best method in terms of performance and quality. The performance variable was calculated on a dry basis, with the Thermobeating method having the highest percentage with 89.78%. Physicochemical tests such as humidity, density, acidity index, peroxide index, saponification index and iodine index were carried out on the oil samples obtained, obtaining the best results in the thermobeating method, with the exception of the peroxide index and whose values were: 0.054%, 0.9039 g/mL, 3.13 g/100g, 78.87 meqO₂/kg, 190.06 mkOH/mg, 84.56cg/g respectively. On the other hand, regarding the composition of fatty acids, High Pressure Liquid Chromatography (HPLC) was carried out, where the hydraulic pressing method generated the best values, which were: 23.57 g/100g, 64.29 g/100g, 12.14 g/100g, 100g, 0.48 g/100g, 11.65 g/100g, 61.07 g/100g, 21.00 g/100g and 1.26 g/100g for Saturated, Monounsaturated, Polyunsaturated Fatty Acids, Omega 3, 6, 9, Palmitic Acid and Stearic Acid, respectively. Finally, these values were contrasted with experimental data from other investigations together with those of a commercial oil, finding values close to those reported.

Keywords: Avocado, thermobeating, enzymatic, hydraulic pressing, expeller pressing, high pressure liquid chromatography (HPLC), fatty acids.

1. Introducción

En el Ecuador se producen cerca de 20 variedades de Aguacate; las más conocidas son: guatemalteco, criollo, hass y fuerte. En los últimos años se ha convertido en una actividad agroexportadora. El aguacate es un cultivo que en el Ecuador va tomando mayor importancia año tras año. Su alto rendimiento en condiciones climáticas adecuadas y la gran demanda en el mercado internacional han colocado a este producto en un sitio privilegiado en el país [1].

Entre sus cualidades, al aguacate se le han atribuido las características de embellecer la piel y también propiedades afrodisíacas. El árbol de aguacate, dependiendo de la variedad, puede crecer en territorios ubicados tanto a nivel del mar como a 2 500 m de altitud, en los valles cálidos interandinos del país. [2]. Por consiguiente esta investigación aportará información relevante tanto para estudiantes de Ingeniería Química como de otras carreras a fines, y eventualmente a personas que quieran emprender en un rentable negocio, pues contarán con las bases teóricas

¹ Universidad de Guayaquil; miroslav.gonzaloa@ug.edu.ec; <https://orcid.org/009-001-6527-7567>, Guayaquil; Ecuador

² Investigador Independiente; joselinestrada1997@gmail.com; <https://orcid.org/0009-008-7187-1344>, Guayaquil; Ecuador.

³ Investigador Independiente; domenicka@hotmail.com; <https://orcid.org/0009-004-0499-0424>, Guayaquil; Ecuador.



de los diferentes métodos y procesos de obtención de aceite de aguacate experimentados en este trabajo, que se irán detallando a lo largo del contenido del mismo, considerando así su extracción y caracterización, para lo cual se realizó perfiles de ácidos grasos de las diversas maneras de extracción, y se comparó con marcas comerciales, para poder lograr de esta manera el estudio comparativo propuesto con anterioridad.

Para alcanzar el objetivo general de: Realizar un estudio comparativo para la obtención de aceite de aguacate por cuatro distintos métodos (termobatido, enzimático, prensado hidráulico y expeller), especificando diferencias significativas y determinando el método más beneficioso en términos de rendimiento y calidad, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Extraer el aceite por varias metodologías de obtención (termobatido, enzimático, prensado hidráulico y expeller) de aceite de aguacate a nivel de laboratorio, y determinar el de mejor rendimiento en cuanto a productividad.
- Caracterizar fisicoquímicamente el aceite extraído, mediante pruebas de: Humedad, Densidad, Índice de Acidez, Índice de Saponificación, Índice de Peróxido, Índice de Yodo.
- Realizar un perfil de Ácidos Grasos de los aceites obtenidos a partir del aguacate (Variedad Hass) mediante Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPCL) y determinar el mejor método de obtención en relación a la calidad del aceite extraído.
- Contrastar los resultados obtenidos mediante análisis fisicoquímico y HPCL del método más apto encontrado en la investigación con las mejores características de calidad de un producto experimental y otro presente en el mercado.

Este estudio puede ser motivo para promover el valor agregado que se le daría a la salida de exportación de aguacate y desarrollar un producto natural no tradicional de exportación como el aceite, siendo este un producto de calidad con perspectivas futuras mediante empleo de nuevas y mejores tecnologías, y no comercializarlo tan solo como fruto.

1.1 Proceso de Termobatido

Según lo que indican Cueva Cabrera [3] este es el proceso encargado de separar líquidos, aceites y sólidos, por lo que en el futuro no tendrán mucha resistencia a la extracción de los elementos. El tratamiento térmico consiste en utilizar la pulpa obtenida previamente y verterla en un tambor rotatorio, en el tambor rotatorio se encuentra una serie de palas que se encargan de emulsionar el producto a bajas velocidades y temperaturas no superiores a 45°C para evitar dañar el producto. En algunos procesos de extracción de aceite, cuando la temperatura sube por encima de la temperatura especificada, se pueden perder muchas

vitaminas, características de aroma y sabor; en algunos casos, cuando esta característica excede su tolerancia, a menudo se producen grasas trans. Por lo tanto, este aceite saturado, no resulta en un producto 100% saludable.

1.2 Proceso Enzimático

La técnica de extracción de aceite mediante aplicación de enzimas ha surgido como un método promisorio para la extracción de aceite. En este proceso se utilizan enzimas adecuadas para extraer el aceite de las semillas trituradas. Entre sus principales ventajas, se destaca el hecho de ser amigables con el medio ambiente, dado que no se generan compuestos volátiles orgánicos como ocurre en el proceso de extracción con solventes que es por lo general. Sin embargo, el tiempo de proceso para la extracción de aceite es bastante mayor en comparación con la extracción mecánica anteriormente descrita, lo cual constituye en la principal desventaja asociada con esta alternativa [4, p. 235].

El uso de enzimas comparte su propio beneficio con el medio ambiente. Diferentes estudios sugieren que las enzimas pueden usarse para mejorar la producción de aceite en los procesos de extracción de aceites y grasas vegetales, donde se utilicen solvente no convencionales y pueden, también, ser inmovilizadas para su recuperación y reutilización, lo que puede ayudar a reducir el costo de procesamiento. [4, p. 235].

Pectinasas. Las pectinasas hidrolizan los diferentes tipos de pectinas, liberando ácidos urónicos. La biodegradación de las pectinas se realiza gracias a las pectinasas y específicamente endopoligalacturonas, que solo actúan sobre unidades ácidas (no esterificadas). Las unidades esterificadas son degradadas por las metil pectina esterasas, que permiten adaptar el sustrato para reaccionar con la enzima anterior. En el caso de las pectinas altamente metiladas, solo las pectiniliasas de origen bacteriano, poseen la capacidad de hidrolizarlas. [5].

1.3 Proceso de hidráulico

Existen varios tipos de moldeo por compresión que utilizan diferentes técnicas para formar un método semi-seco, aunque la mayoría de los métodos son en realidad iguales o similares, las características finales del producto justifican el uso de una u otra técnica. El proceso de prensado hidráulico se base en el empleo de un amortiguador cuya presión es aplicada por un émbolo empujado por la presión del fluido dentro del circuito hidráulico. [6]. La presión aplicada en cualquier parte del fluido cerrado e incompresible se transmitirá uniformemente en todas las direcciones de todo el fluido, es decir, la presión de todo el fluido es constante. Según la inferencia del físico Pascal cuanto mayores el tamaño del elemento que aplica presión, mayor es la presión aplicada, mayor es la fuerza que se puede obtener.

1.4 Proceso de presado por expeller

El prensado continuo es realizado de forma común en las prensas expeller o tornillo. Estas prensas soportan altas presiones; generalmente se practica el prensado en dos o tres prensadas, incrementando en cada una de ellas la presión. [7, p. 446].

Existen varios tipos o modelos de prensa, por lo que las principales diferencias de estas son la geometría del tornillo, el tipo de orificio o boquilla, la salida del aceite y la torta de filtración residual. [8, p. 14].

2. Materiales y métodos.

2.1 Procedimiento experimental para la extracción de aceite de aguacate por el Método de Termobatido.

Se receptó la materia prima, la misma que fue seleccionada considerando el estado de madurez de los aguacates, lo cual se lo realizó de manera muy meticulosa, descartando los frutos que no cumplen con la dureza, firmeza, textura y apariencia pretendida.

A continuación, se lavó los aguacates con agua destilada para eliminar cualquier tipo de impurezas que puedan cambiar las características fisicoquímicas, luego se desinfectó con una solución de lejía a 150 ppm. Se pesó la fruta previamente seleccionada en una balanza gravimétrica, y así se procedió a pelar los aguacates de tal forma que se consiga la mayor parte de pulpa y posteriormente a sacar la semilla, cortar en pedazos, y con ayuda de un tenedor se trituró la pulpa de tal forma que se pudo poner la masa de la manera más fácil en las bandejas de estufa para un secado óptimo a una temperatura de 53°C por 24 horas. Una vez obtenida la pulpa seca, se fragmentó en trozos más pequeños y con una humedad aproximadamente mayor al 5%, y se alimentó a la tolva de la prensa Piteba. Se encendió el mechero de alcohol y se colocó en el equipo, esperando 10 minutos, de manera que la prensa se fue calentando, lo que facilitó que después salga más cantidad de aceite de la materia prima empleada.

Cuando el aceite se calentó demasiado se disminuyó la intensidad de la llama hasta que la misma sea adecuada. La presión ejercida se aplicó de acuerdo al tapón regulador, ya que en cuanto más se atornillo este tapón, más alta fue la presión. Cabe indicar que el expeller tiene dos salidas, por una saldrá el aceite y por la otra la pulpa totalmente seca en forma de tiras. El producto obtenido se procede a filtrarlo, medir su volumen, envasarlo en botellas ámbar y almacenarlo a la temperatura ambiente.

En la Tabla 1 se describen los principales materiales, equipos y reactivos que se utilizaron para la extracción del aceite de aguacate a partir de la materia prima de variedad Hass, mediante el Método de Termobatido.

Tabla 1. Materiales, instrumentos y equipos utilizados para la extracción de aceite de aguacate por el método de Termobatido.

Materiales	Marca/Modelo	Capacidad
Vasos de precipitación	EISCO	250 ml
Frascos de Vidrio	S/M	150 ml
Mechero de Alcohol	S/M	50 ml
Papel filtro	Whatman	150 mm Ø
Botellas de color ámbar	S/M	500 ml
Recipiente metálico	S/M	4 Lt
Instrumentos	Marca	Capacidad
Balanza gramera	OHAUS	5 Kg
Estufa	Dalvo/TDE/70	<= 200°C
Prensa Expeller	Piteba	
Reactivos	Pureza	
Lejía	75%	
Agua destilada o desionizada	100 %	
Alcohol etílico	69.99 ° GL	

En la Figura 1 se muestra el equipo empleado para la obtención de aceite de aguacate por el método de Termobatido.



Fig 1. Prensa Piteba, presado en caliente con mechero de alcohol etílico

2.2 Procedimiento experimental para la extracción de aceite de aguacate por el Método Enzimático.

Una vez realizada la desinfección del fruto como se indica en el proceso 2.1 se procedió a pelar y deshuesar los aguacates para posteriormente se pesó 420 g de pulpa de aguacate. Se Trituró la pulpa obtenida en un recipiente metálico y se ajustó el pH a 5, con soluciones de ácido fosfórico al 42,5% y ácido ascórbico al 7,7%. Luego se trasladó la mezcla a un baño maría en una hornilla, luego de lo cual se agregó 5 ml del preparado enzimático cuando la temperatura alcanzó a los 40 °C. Posteriormente se agitó continuamente durante aproximadamente por 2 horas para facilitar el trabajo de la dosis enzimática utilizada anteriormente. La mezcla tratada se colocó en una prensa hidráulica, donde fue colocada dentro de tela poli seda y ésta dentro de un tamiz, el cual permitirá la salida del aceite y el agua, donde se prensará manualmente aplicando 100 Kg/cm² y la fase líquida resultante se centrifugó a 1400 rpm, por 15 minutos, donde se separará el aceite crudo y el



agua. Se repitió el proceso hasta obtener una cantidad considerable de muestra la misma que fue analizada al final del proceso. El aceite crudo obtenido fue neutralizado, blanqueado y secado, para lo cual se utilizó 200 g.

En la Neutralización, para eliminar los ácidos grasos libres del aceite que le otorgan inestabilidad o tendencia a la formación de espuma cuando se utiliza a elevadas temperaturas. Al aceite obtenido se le aplicó a 80 °C el NaOH a una concentración 5N, para provocar la formación de sales de sodio. Posteriormente se agregó 20 g del óxido de magnesio y se esperó que reaccione por 5 minutos a la temperatura señalada con agitación moderada y constante.

Mientras que, en Blanqueamiento, para eliminar los compuestos indeseables que conceden al aceite mal aspecto por hebras vegetales e inestabilidad oxidativa por la clorofila se filtró con tierra de diatomeas en proporción de 1%, luego se calentó a 120°C a una presión de 130 mm Hg por 20 minutos en estufa al vacío. Posteriormente se desecharon las tierras mediante filtración al vacío con papel filtro Whatman N° 4.

Finalmente, para el Secado, se empleó una estufa al vacío a una presión de 130 mm Hg a 120°C por 30 minutos, luego de lo cual se extrajo la muestra del aceite en una botella color ámbar, se procedió a etiquetarla y almacenarla a temperatura ambiente.

Para la obtención de Aceite de aguacate por el método Enzimático, se utilizaron los materiales, instrumentos y equipos que se describen en la Tabla 2

Tabla 2 Materiales, instrumentos y equipos utilizados para la extracción de aceite de aguacate por el método Enzimático.

Materiales	Marca/modelo	Capacidad
Probeta	EISCO	50 ml
Tela poli seda	S/M	1 m ²
Botellas de color ámbar	S/M	500 ml
Recipiente metálico	S/M	4 Lt
Tubos de ensayo plástico con rosca	BOECO	10 ml
Papel filtro Whatman N° 4.	Germany	
Instrumentos	Marca	Capacidad
Balanza Gramera	OHAUS	5 kg
Cocina eléctrica de 1 hornilla	IMACO	100°C
Prensa Hidráulica	Century	20 ton
pH metro	OAKION ecoTestr	0 – 14
Centrífuga (Lavadora)	Samsung	1400 rpm
Reactivos	Pureza	
Lejía	75%	
Agua destilada o desionizada	100 %	
Enzima Pectinasa (GranozymePTE 100)	Concentrada	
Ácido Fosfórico	69,99 ° GL	
Ácido Ascórbico	7,7%	
Ácido Fosfórico	42,5%	
Hidróxido de Sodio	5 N	

2.3 Procedimiento experimental para la extracción de aceite de aguacate por el Método de Prensado Hidráulico.

Una vez seleccionado, desinfectado, pesado los aguacates se procedió a cortar en pedazos y con ayuda de un tenedor triturar la pulpa de tal forma que se pueda poner la masa de la manera más fácil en las bandejas de la estufa sobre las fundas de polietileno para un mejor secado a una temperatura de 53°C por 24 horas. Una vez obtenida la pulpa seca, se hace trozos más pequeños y con una humedad aproximadamente mayor al 5%, se alimenta a un tamiz de acero conectado a la Prensa hidráulica. En las platinas del equipo se colocó un recipiente plano y sobre papel aluminio donde se recogió todo el aceite, el mismo que se acopló a una manguera que se conectó a una probeta para recolectar la muestra.

Posteriormente se colocó en un pedazo de poli seda dentro del tamiz y se aplicó una fuerza por medio de la prensa cada 10 minutos aproximadamente con un valor de 6000 lbs, poco a poco hasta que se extrajo todo el aceite que se pudo y se dejó que quede la torta seca.

A través del papel filtro, se pasó el aceite hacia un vaso de precipitación, para luego decantarlo el aceite obtenido en un tiempo 12 horas aproximadamente de proceso y tener la certeza de la separación recomendable de aceite del agua y otras macropartículas. El aceite obtenido, se depositó en botellas color ámbar de 500 ml para que la luz no pueda deteriorar el aceite y se rotulo las mismas para su identificación.

Finalmente, se almacenaron los frascos a una temperatura ambiente. En la Tabla 3 se muestran los materiales, instrumentos y reactivos empleados en el proceso de prensado hidráulico.

Tabla 3 Materiales, instrumentos y equipos utilizados para la extracción de aceite de aguacate por el método de prensado hidráulico

Materiales	Marca/modelo	Capacidad
Vasos de precipitación	EISCO	250 mL
Probeta	EISCO	100 mL
Tela poli seda	S/M	1 m ²
Botellas de color ámbar	S/M	500 mL
Papel Aluminio	S/M	40 x 40 cm
Disco de acero	S/M	8 -10 mm Ø
Bolsas plásticas de polietileno	S/M	40 x 25 cm
Instrumentos	Marca	Capacidad
Balanza Gramera	OHAUS	5 Kg
Prensa Hidráulica	Century	20 Ton
Estufa	Dalvo/TDE/70	<= 200°C
Reactivos	Pureza	
Lejía	75%	
Agua destilada o desionizada	100%	

En la Figura 2 se muestra el equipo empleado para el proceso de prensado hidráulico.



Fig 2 Prensa Hidráulica con capacidad de 20 Tm empleada para el proceso de prensado

2.4 Procedimiento experimental para la extracción de aceite de aguacate por el Método de Prensado por Expeller

El presente método se cumplió con el proceso de selección y desinfección de la materia prima como en los demás procedimientos indicados anteriormente, luego se procedió a cortar en pedazos la pulpa y con ayuda de un tenedor a triturar la pulpa de tal forma que se pueda poner la masa de la manera más fácil en las bandejas de estufa para un secado óptimo a una temperatura de 53°C por 24 horas. Una vez obtenida la pulpa seca, se fragmentó en trozos más pequeños y con una humedad aproximadamente mayor al 5%, alimentar la tolva de la prensa Piteba.

La presión ejercida se aplicará de acuerdo al tapón regulador, ya que en tanto más se ajuste este tapón, más alta será la presión. Cabe indicar que el expeller tiene dos salidas, por una saldrá el aceite y por la otra la pulpa totalmente seca en forma de tiras.

Una vez el aceite obtenido, se repite el proceso de a filtrar, medir, envasar en las botellas ámbar, etiquetar y almacenar, al igual que el método de Termobatido. Se debe recalcar que la diferencia en relación al proceso de Termobatido es que no se procedió a calentar la prensa para la obtención del aceite.

En la Tabla 4 se muestran los materiales, instrumentos y reactivos empleados para el proceso de prensado por expeller.

Tabla 4. Materiales, instrumentos y equipos empleados para la extracción de aceite de aguacate por el método de prensado por expeller.

Materiales	Marca/modelo	Capacidad
Vasos de precipitación	EISCO	250 ml
Frascos de Vidrio	S/M	150 ml
Papel filtro	Whatman	150 mm Ø
Botellas de color ámbar	S/M	500 ml
Recipiente metálico	S/M	4 Lt
Instrumento	Marca	Capacidad
Balanza Gramera	OHAUS	5 Kg
Estufa	Dalvo/TDE/70	<= 200°C
Prensa Expeller	Piteba	
Reactivos	Pureza	
Lejía	75%	
Agua destilada o des ionizada	100 %	

2.5 Determinación del rendimiento.

Para la determinación del rendimiento, se realizaron las medidas correspondientes conseguidas por cada método de extracción en relación al peso de aceite obtenido en base seca y con el peso de la materia seca de la pulpa empleada se procedió a calcular el rendimiento.

Para conseguir los valores de porcentaje del rendimiento en base seca por cada método considerando el porcentaje de Humedad de Pulpa de Aguacate de variedad Hass, (Gutara Sanabria & Vargas Rodríguez, 2018) se aplicó la siguiente ecuación (1).

$$\%rendimiento (bs) = \frac{\text{Peso de aceite (bs)}}{\text{Peso de pulpa (bs)}} * 100 \quad (1)$$

2.6 Determinación de las características fisicoquímicas.

Para la evaluación de las variables físico-químicas, se analizaron las cuatro muestras obtenidas por cada método de extracción, a las cuales se les evaluó seis parámetros: índice de acidez, índice de peróxido, índice de saponificación, índice de yodo, densidad y humedad, las mismas que serán comparadas mediante una referencia bibliográfica, un aceite comercial de similares características y la norma NTE INEN 29 referente al aceite de Oliva, ya que no se dispone de una norma INEN para aceites de aguacate

a) Índice de Acidez

Para realización esta técnica se tomó como referencia la Norma AOAC 21TH 2019,940.28, la misma que fue desarrollada en Laboratorios AVVE. S.A. cuyas unidades se expresaron en g/100g.

b) Índice de Peróxido

Este ensayo se fundamentó en la Norma AOAC 21TH 2019,965.33, que fue realizada en Laboratorios AVVE. S.A., donde sus unidades de medición serán en mEqO₂/kg

c) Índice de Saponificación.

La metodología aplicada para efectuar este parámetro se fundamentó en la Norma MMQ-87 AOAC 21TH 2019,920.160, desarrollada por Laboratorios AVVE. S.A., donde sus unidades están dadas en mg KOH/g.

d) Índice de Yodo



La técnica que se aplicará para este método de ensayo se la realizó de acuerdo a la Norma MMQ-87 AOAC 21TH 2019,920.159, desarrollada en los Laboratorios AVVE. S.A., y sus unidades se expresarán en cg/g.

e) Densidad

Para la determinación de la densidad se procedió a pesar una probeta vacía y seca, luego se taro el peso en la balanza, inmediatamente se llenó la probeta con 100 mL y se procedió el leer el peso obtenido. Para la obtención de la densidad se aplicó la siguiente fórmula:

$$\rho = m/V \quad (2)$$

Donde ρ : es la densidad en g/mL, m: masa en g, V: volumen en mL

Se repitió el procedimiento para cada una de las muestras de aceite obtenido por cada método diferente.

f) Humedad

Este ensayo se lo realizó conforme a la NTE INEN 39, la misma que indica la Determinación de Pérdida por Calentamiento (Humedad) y otras materias volátiles, en las grasas y aceites animales o vegetales.

Para la determinación de la humedad se procedió a verificar si la muestra era líquida, de aspecto claro y sin sedimento, luego de lo cual se la invirtió varias veces en el recipiente que la contiene, luego se colocó en un platillo de porcelana previamente tarado 5 g, posteriormente se introdujo en una estufa calentada a $103 \text{ C} \pm 2^\circ\text{C}$, finalmente se enfria el platillo se lo coloca en un desecador y se procede a pesar. Se procedió a repetir las operaciones antes indicadas para las muestras obtenidas por cada método de extracción. Para el cálculo de humedad se empleó la siguiente fórmula:

$$\% H = \frac{W_o - W_f}{W_o} \quad (3)$$

Donde W_o representa el peso inicial y W_f el peso final. En la Tabla 5 se listan los materiales, instrumentos y reactivos empleados para la determinación de la densidad y humedad

Tabla 5 Materiales, instrumentos reactivos empleados para la determinación de densidad y humedad de aceite de aguacate.

Materiales	Marca/Modelo	Capacidad
Probeta	Glassco	100 mL
Cápsulas de porcelana	Canfort	
Instrumentos	Marca/Modelo	Capacidad
Balanza gramera	Ohaus	2 Kg
Desecador de silica gel	S/M	
Estufa	Dalvo/TDE/70	$\leq 200^\circ\text{C}$
Reactivos	Pureza	
Aceite de aguacate	100%	

2.7 Determinación del Perfil de Ácidos Grasos.

La determinación de los ácidos grasos de los aceites obtenidos mediante los cuatro métodos de extracción se los efectuó mediante Cromatografía Líquida de Alta Presión (HPLC), bajo la Norma MMQ-HPCL-09, la cual fue efectuada en Laboratorios AVVE. S.A, los mismos que fueron comparados con un resultado bibliográfico y con un el análisis de un aceite comercial.

3. Resultados

3.1 Rendimiento

Los valores del rendimiento obtenidos por cada método de extracción se muestran en la Tabla 6

Tabla 6. Valores de rendimiento obtenidos para cada método de extracción

Porcentaje de rendimiento por método de extracción			
Termobatido	Enzimático	Prensado hidráulico	Prensado por Expeller
89.78	6.79	7.57	38.98

En la Figura 3 se muestran los porcentajes de rendimiento por método de extracción

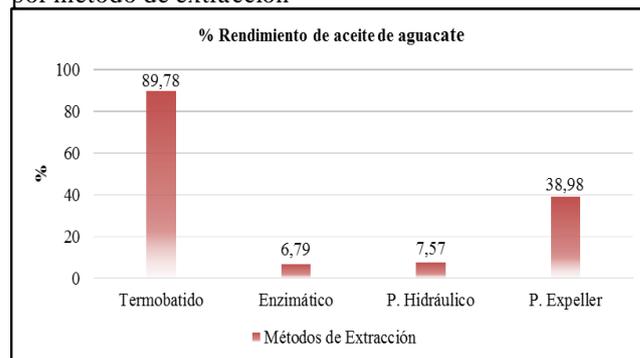


Fig 3. Diagrama de barras para comparar porcentajes de rendimiento entre métodos de extracción.

3.2 Resultados de las características fisicoquímicas

En la Tabla 7 se muestran los resultados de la determinación de las características fisicoquímica del aceite aguacate obtenido mediante los 4 procesos.

Tabla 7 Características Físicoquímicas del aceite de aguacate por cada método de extracción.

Análisis Físicoquímico	Métodos de Extracción				Unidades
	A	B	C	D	
Índice de Acidez	3.13	1.29	0.90	5.05	g/100g
Índice de Peróxido	78.87	11.36	4.32	49.57	mEqO2/kg
Índice de Saponificación	190.06	189.28	193.87	193.49	mKOH/mg
Índice de Yodo	84.56	78.25	74.29	84.49	cg/g
Densidad	0.9039	0.8955	0.8951	0.9007	g/ml
Humedad	0.054	0.048	0.044	0.052	%

A: Método de Termobatido, B: Método Enzimático, C: Método de Prensado Hidráulico, D: Método de Prensado por Expeller

En la Figura 4 se muestra, una comparación mediante diagrama de barras de las características Físicas del aceite obtenido mediante los diferentes métodos de extracción

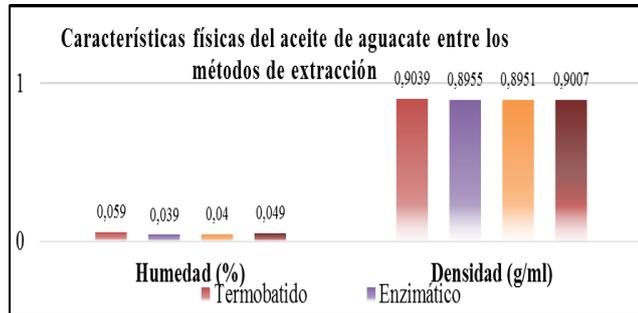


Fig 4 Diagrama de comparación de Características Físicas del aceite entre métodos de extracción.

En la Figura 5 se muestran las características químicas obtenidas del aceite correspondiente a cada método de extracción.

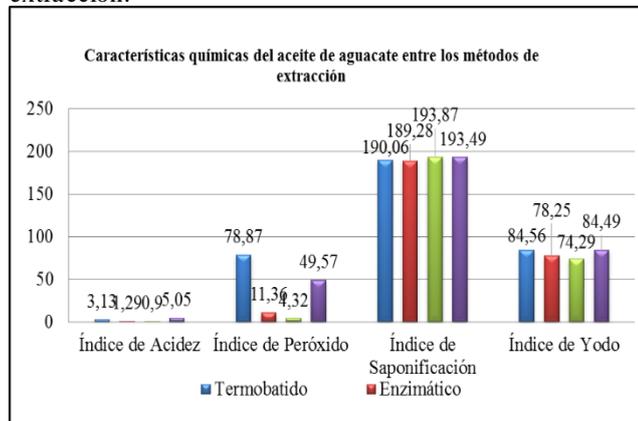


Fig 5 Diagrama de comparación de Características Químicas del aceite obtenido mediante métodos de extracción.

En la Tabla 8 se muestran los parámetros fisicoquímicos de referencias bibliográficas para su respectiva comparación.

Tabla 8 Características Fisicoquímicas de aceite aguacate obtenido por extracción termo-mecánica, evaporación rápida y prensado

Características Fisicoquímicas	Método de Extracción		Unidades
	Extracción Termo mecánica ^a	Evap. Rápida y prensado ^b	
Índice de Acidez	0,38	0,10	g/100g
Índice de Peróxido	5,56	2,20	mEqO ₂ /kg
Índice de Saponificación	195,55	130,00	mKOH/mg
Índice de Yodo	80,94	69,91	cg/g

^a [9]. ^b [10]

3.3 Resultados del Perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos.

En las Tabla 9, se muestran los resultados del perfil de ácidos grasos de los aceites obtenidos mediante los procesos de Termobatido, enzimático y proceso hidráulico, mientras que en la Tabla 10 se muestran los resultados del perfil de

ácidos grasos del aceite obtenido mediante el proceso de prensado por expeller, el perfil lipídico de una referencia bibliográfica y el de un aceite comercial marca MIRA.

Tabla 9 Resultados del Perfil de Ácidos grasos del aceite de aguacate obtenido mediante los procesos de Termobatido, Enzimático y proceso hidráulico.

Perfil Lipídico de ácidos grasos	Métodos de extracción			Unidades
	Termobatido	Enzimático	Prensado Hidráulico	
Ácidos grasos Saturados	17,93	17,12	23,57	g/100g
Ácidos grasos Monoinsaturados	71,38	72,23	64,29	g/100g
Ácidos Grasos Poliinsaturados	10,69	10,65	12,14	g/100g
Ácido Linolénico (Omega 3)	0,76	0,66	0,48	g/100g
Ácido Linoléico (Omega 6)	9,93	9,99	11,65	g/100g
Ácido Oleico (Omega 9)	67,03	67,02	61,07	g/100g
Ácido Palmítico	17,23	14,93	21,00	g/100g
Ácido Esteárico	0,51	1,05	1,26	g/100g
Vitamina E	-	-	-	mg/100g

Tabla 10 Resultados del Perfil de Ácidos grasos del aceite de aguacate obtenido mediante el proceso de prensado por expeller, extracción Termomecánica y aceite comercial marca MIRA.

Perfil Lipídico de ácidos grasos	Métodos de extracción			Unidades
	Prensado por Expeller	Extracción Termomecánica	Aceite de Aguacate marca MIRA	
Ácidos grasos Saturados	18,68	22,1059	21,3	g/100g
Ácidos grasos Monoinsaturados	69,99	63,7555	78,7	g/100g
Ácidos Grasos Poliinsaturados	11,33	13,6216	-	g/100g
Ácido Linolénico (Omega 3)	0,91	0,7599	1,4	g/100g
Ácido Linoléico (Omega 6)	10,41	12,8726	8,9	g/100g
Ácido Oleico (Omega 9)	65,72	53,2511	56,62	g/100g
Ácido Palmítico	17,73	21,5194	-	g/100g
Ácido Esteárico	0,57	0,4806	-	g/100g
Vitamina E	-	10,11	13,28	mg/100g

4. Discusión

4.1 Análisis del rendimiento

Una vez calculado los porcentajes de Rendimiento, de cada uno de los métodos de extracción, se determina que el de mayor porcentaje es el que se consiguió por el Método Termobatido con un 89,78%, seguido por el método de Prensado por Expeller de 39,98%, consecuentemente el de Prensado Hidráulico con 7,57% y el método Enzimático con 6,79%; por tanto, se establece que el Método de Termobatido es el que mejores resultados presentó, respecto a la variable rendimiento.



Respecto al Método de Termobatido, se ejerce una presión a altas temperaturas, lo que permite que se logran romper más las partículas de aceite, sin embargo, presenta como desventaja la apariencia, ya que presenta un aceite con aspecto más oscuro, a diferencia de los demás métodos.

4.2 Análisis de las características fisicoquímicas

En la investigación de Candori Cahui [10] señala que: “Las propiedades fisicoquímicas son los índices más comunes para evaluar la calidad de los aceites de semilla en la industria alimentaria, no obstante, las determinaciones de las propiedades fisicoquímicas del aceite vegetal son necesarias para juzgar la idoneidad de aceite para una aplicación particular.”

Por tal razón estas características, permiten identificar si los aceites se encuentran en el estado apropiado para someterse a las pruebas posteriores de calidad, o si deben ser rechazados, si su calidad no es la adecuada.

En relación a las características físicas desarrolladas en este trabajo investigativo, los valores de humedad (Pérdida por Calentamiento), así como de la densidad relativa, lograron resultados que están de acorde a la norma NTE INEN 29 [11], que es la que se asemeja a los productos obtenidos en este proyecto, como es el Aceite de Oliva, donde se indica las especificaciones establecidas en un máximo de 0,050% para humedad y un rango de 0,840 y 0,960 g/ml para la densidad relativa.

De acuerdo con los datos obtenidos los métodos de termobatido, enzimático y prensado hidráulico presentan valores de índice de acidez establecido por la norma NTE INEN 29 [11] entre 0.8 y 3.3 g/100 g, en relación con el índice de peróxido solo el método de prensado hidráulico presenta un valor inferior a 10 mEqO₂/kg acorde a la mencionada norma. Comparando el índice de yodo con la norma NTE INEN 29 [11] que indica que los valores deben estar entre 79 y 89 cg/g los cuatro métodos de extracción cumplirían con la norma de comparación.

4.3 Análisis de resultados del Perfil de ácidos grasos

Según los análisis y comparaciones de los resultados, respecto a los principales ácidos grasos, Oleico (C18:1), Linoleico (C18:2) y Alfa Linolénico (C18:3), Palmítico (C18:0) y Esteárico (C18:0) tabulados, se puede observar que respecto al ácido oleico el método termobatido es mejor por tener mayor porcentaje, esto se debe a que el ácido oleico es más sensible al calor, puesto que los productos que tienen una mayor proporción de ácidos grasos insaturados, además los productos que tienen una cantidad alta de ácidos grasos insaturados están más predispuestos a la oxidación a comparación de los que tienen cantidades más pequeñas. Referente al Ácido Linoleico, el método enzimático es el que presenta mayor porcentaje, junto al valor conseguido por el trabajo de Yepes Betancur [9].

Con relación al Ácido AlfaLinolénico, el método por expeller resulto presentar el mayor porcentaje, posteriormente respecto al Ácido Palmítico que es un ácido saturado, el método enzimático es mejor por tener un menor porcentaje, a diferencia de las demás técnicas que tienen mayor saturación por haber sido expuestos a tratamientos de presión y temperatura. [12]

Bergh [13] señala que es sustancial hacer notar el bajo porcentaje de Ac. Esteárico (C18:0) y los ácidos grasos saturados en general frente al alto porcentaje de ácidos grasos monoinsaturados, debido que, aunque los ácidos monoinsaturados y poliinsaturados están relacionados con la disminución del colesterol en la sangre, solo los monoinsaturados influyen en la reducción de la presión sanguínea.

En cambio, Stanley [14], expresa que, sin dejar atrás la importancia de los ácidos grasos insaturados, oleico y linoleico, estos son hipocolesterolemiantes, por lo que disminuyen las concentraciones del colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad) que se deposita en las arterias y potencian las acciones beneficiosas del colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad).

Por estas razones, los aceites extraídos por diferentes métodos como termobatido, enzimático, prensado hidráulico y por expeller, cumplen con los requisitos nutricionales aportando de esta manera a la salud de los consumidores, recalando que sus resultados tienen cierta semejanza entre sí en relación con los ácidos grasos analizados

Las diferencias mínimas encontradas en este trabajo con respecto a otras investigaciones, en las propiedades fisicoquímicas y la composición de ácidos grasos del aceite de aguacate, se deben seguramente a las técnicas utilizadas en la extracción, a las condiciones ambientales del fruto, a su variedad o al estado de madurez.

5. Conclusiones

Las extracciones de aceite de Aguacate de la variedad Hass, realizados por los cuatro métodos, permitió, evaluar y comprobar la presencia de diferencias y semejanzas tanto en la ejecución de las técnicas, como en resultados, para posteriormente seleccionar el mejor proceso que ofrezca las mejores condiciones de calidad, y que posteriormente pueda ser implementado a nivel de planta piloto y finalmente a nivel industrial con las condiciones de proceso y operación debidamente probadas mediante varios ensayos hasta lograr la optimización.

Se encontraron diferencias muy significativas en lo que corresponde a la variable de rendimiento, donde el método que presentó mayor porcentaje fue el método de



Termobatido con un 89,78%, y el método que presento el menor porcentaje fue el método Enzimático con 6,79%.

Comparando los cuatro métodos de extracción entre sí, se concluye que el proceso de prensado hidráulico presenta los más altos valores en relación al contenido de: ácidos grasos saturados, ácidos grasos poliinsaturados, ácido linoleico, palmítico y esteárico respectivamente.

Considerando el rendimiento del proceso, el mismo que es importante en relación a la productividad, así como la calidad del producto obtenido en relación a sus propiedades fisicoquímicas y perfil de ácidos grasos se concluye que la calidad se encuentra relacionada con un bajo rendimiento del aceite obtenido, teniendo que el proceso de prensado hidráulico presenta las mejores condiciones de calidad del producto pero un rendimiento relativamente bajo (7.57%), si el objetivo de una planta industrial sería obtener un buen rendimiento el método más idóneo sería el de termobatido pero con una disminución en la calidad del aceite obtenido sobre todo en lo relacionado con las propiedades físicas, no así con el perfil de ácidos grasos que presentan un buen aporte sobre todo de los insaturados que son los más beneficiosos para la salud.

Puesto que, el rendimiento de obtención en el proceso de termobatido es el más alto, se recomienda un estudio de su obtención empleando antioxidantes con el fin de disminuir el índice de peróxido relacionado con la oxidación del aceite obtenido.

6. Referencias

- [1] R. Melo, «El Telégrafo,» 20 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/los-cultivos-de-aguacate-se-extienden-por-los-valles-templados-de-la-serrania>. [Último acceso: 27 Abril 2020].
- [2] «El Comercio,» 3 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/tendencias/consumo-aguacate-ecuador-precolombino-intercultural.html>. [Último acceso: 27 Abril 2020].
- [3] D. A. Cueva Cabrera y A. S. Pilatuña Zambrano, «Universidad Politécnica Salesiana,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7102/1/UPS-QT05876.pdf>.
- [4] J. M. Rincón Martínez y E. E. Silva Lora, «Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad,» 1 ed., ISBN, Ed., Bogotá, Cytel, p. 332.
- [5] L. Rodríguez, «Universidad Nacional del Sur,» Mayo 2019. [En línea]. Available: <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/4550/1/TESIS%20DOCTORAL-RODRIGUEZ%20LUCIANA-2019.pdf>.
- [6] S. Shourkroun, «Organización y gestión de las operaciones de conformado y secado de productos cerámicos,» 5.1 ed., Elearning S.L., 2015, pp. 137 - 359.
- [7] A. E. Bailey, «Aceites y Grasas Industriales,» 2 ed., Reverté, 1944, p. 746.
- [8] P. Beerens, «Screw-pressing of Jatropha seeds for fuelling,» D. o. S. E. Technology, Ed., Eindhoven University of Technology, 2007.
- [9] D. P. Yépes Betancur, L. Sánchez Giraldo y C. J. Marquéz Cardozo, «Extracción termomecánica y caracterización fisicoquímica del

aceite de aguacate (Persea americana Mill. cv. Hass),» *Informador Técnico (Colombia)*, vol. 81, n° 1, pp. 75 - 85, 28 Junio 2017.

- [1] M. Candori Cahui, «Análisis de extracción de aceite de palta (Persea americana) de la variedad Fuerte por evaporación rápida de agua,» Diciembre 2016. [En línea]. Available: https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/410/Moises_Tesis_bachiller_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [1] INEN, «Servicio Ecuatoriano de Normalización,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/29.pdf>.
- [1] H. D. Gutarra Sanabria y M. F. Vargas Rodríguez, «Universidad de San Ignacio de Loyola,» Junio 2018. [En línea]. Available: http://repositorio.usil.edu.pe/bitstream/USIL/3252/1/2018_Gutarra-Sanabria.pdf.
- [1] B. Bergh, «The avocado an human nutrition. Avocados and your heart. Proceedings of the second world avocado congress,» 1992. [En línea].
- [1] J. C. Stanley, «The nutritional reputation of palm oil,» *Lipid Technology*, vol. 20, n° 5, pp. 112-114, Abril 2018.