

## Proximal analysis and identification of biocompounds in avocado (*Persea americana* Mill.) agro-industrial residue

### Análisis proximal e identificación de biocompuestos del residuo agroindustrial de aguacate (*Persea americana* Mill.)

Nydia Suarez-Suarez<sup>1</sup>; Juan M. Pinos-Rodríguez<sup>2</sup>; Guillermo Espinoza-Reyes<sup>3</sup>; Maribel Rodríguez-Aguilar<sup>4</sup>; Anayeli Vázquez-Valladolid<sup>1</sup>; Héctor Lee-Rangel<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Carr. San Luis Potosí-Matehuala km 14.5, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, C. P. 78321, México.

<sup>2</sup>Universidad Veracruzana, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Av. Miguel Ángel de Quevedo s/n, esq. Yáñez, col. Centro, Veracruz, C. P. 91710, México.

<sup>3</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología (CIACYT), Av. Sierra Leona núm. 550-2ª, Lomas de San Luis, San Luis Potosí, C. P. 78210, México.

<sup>4</sup>Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo, Campus Chetumal. Blvd. Bahía s/n, esq. Ignacio Comonfort, col. Del Bosque, Chetumal, Quintana Roo, C. P. 77019, México.

\*Corresponding author: [hector.lee@uaslp.mx](mailto:hector.lee@uaslp.mx)

#### Abstract

The objective of this study was to identify the bioactive compounds present in avocado agro-industrial residues that could serve as an alternative ingredient in animal feed in arid and semi-arid regions of Mexico. Residue samples were collected from a guacamole processing plant in the Bajío region of Mexico for proximal chemical analysis and biocompound analysis using gas chromatography coupled with mass spectrometry. Residues had a chemical composition higher than that of some forages, with 93.35 % dry matter, 5.74 % crude protein, 17.5 % ether extract, 32.14 % neutral detergent fiber, 26.58 % acid detergent fiber, and 5.59 % ash content. Additionally, 129 different compounds were identified, including vitamin E, sitosterol, hexadecanoic acid, octadecanoic acid, and pentadecanoic acid. Therefore, the results indicate that avocado agro-industrial residue can be considered as an alternative feed source, because the bioactive compounds it contains may be beneficial when included in the diet of livestock in the arid and semi-arid regions of Mexico.

**Keywords:** agroindustry, livestock, avocado.

#### Resumen

El objetivo de este estudio fue identificar los compuestos bioactivos que tienen los residuos de la agroindustria del aguacate y que pueden ser un ingrediente alternativo en la alimentación animal en zonas áridas y semiáridas de México. Se tomaron muestras de residuos de una planta procesadora de guacamole de la región del Bajío mexicano para realizar un análisis químico proximal, así como un análisis de biocompuestos mediante cromatografía de gases acoplado a un detector de masas. Los residuos presentaron una composición química superior a la de algunos forrajes, con un 93.35 % de materia seca, 5.74 % de proteína cruda, 17.5 % de extracto etéreo, 32.14 % de fibra detergente neutro, 26.58 % de fibra detergente ácido y 5.59 % de cenizas. Además, se encontraron 129 compuestos diferentes, entre ellos vitamina E, sitosterol, ácido hexadecanoico, ácido octadecanoico y ácido pentadecanoico. Por lo tanto, los resultados indican que los residuos de la agroindustria del aguacate se pueden considerar como alimento alternativo, ya que los compuestos bioactivos pueden ser benéficos al incluirse en la dieta de animales de interés en las zonas áridas y semiáridas de México.

**Palabras clave:** agroindustria, ganadería, aguacate.



## Introduction

Arid zones cover approximately one third of the world's surface. According to Rivera et al. (2007), 65 % of the Mexican territory is classified as arid and semiarid, where adverse climatic and ecological conditions have limited the development of productive activities. The Bajío region is an important semi-arid zone for the country's agricultural and livestock sectors, as it has fostered the growth of agroindustry as a fundamental activity for the development of the primary sector. Some of these agroindustries, such as avocado processing, generate by-products and residues known as non-traditional ingredients, which can be used as animal feed (Avilés-Ríos et al., 2009).

Avocado is classified as a fruit native to Mexico and Central America, which has been consumed for 10,000 years (Araújo et al., 2018). Mexico is the main producer of avocado, with approximately 38 % of world production (Gutiérrez-Contreras et al., 2010). During avocado processing, several value-added products are derived, such as guacamole, essential oils and puree; however, this process generates a considerable volume of residues, representing about 30 % of the fruit, since only the pulp is used (Barbosa-Martín et al., 2016). In the Bajío region, Congeladora y Empacadora Nacional, S. A. de C. V. processes an average of 12,000 t of avocado annually and generates 4,800 t of residues (Avilés-Ríos et al., 2009). These residues have an important nutritional value and can be a potential source of energy. In addition, avocado residues contain compounds that may offer benefits for animal health (de Evan et al., 2020). Therefore, the objective of the present study was to identify bioactive compounds in avocado agroindustry residues that can be an alternative ingredient for animal feed in arid and semiarid zones of Mexico.

## Materials and methods

This study was carried out in the Bromatology Laboratory of the Faculty of Agronomy and Veterinary Medicine at the Universidad Autónoma de San Luis Potosí, located in Ejido Palma de la Cruz, in the municipality of Soledad de Graciano Sánchez (101° 01' 20" W and 22° 12' 27" N, 1,883 m a. s. l.). The region has a temperate dry climate, with average annual temperature of 16 °C and average annual precipitation of 400 mm (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 2011).

Industrial avocado residue samples were collected weekly for six weeks. The six samples were dried in a forced-air oven at 55 °C for 72 h, then weighed to record the dry matter (DM) weight. Samples were sieved using a 1 mm diameter mesh and ground in a

## Introducción

Las zonas áridas abarcan, aproximadamente, una tercera parte de la superficie mundial. De acuerdo con Rivera et al. (2007), el 65 % del territorio mexicano se clasifica como árido y semiárido, donde las condiciones climáticas y ecológicas adversas han limitado el desarrollo de actividades productivas. La región del Bajío es una zona semiárida importante para los sectores agrícola y pecuario del país, ya que ha propiciado el crecimiento de la agroindustria como actividad fundamental para el desarrollo del sector primario. Algunas de estas agroindustrias, como la del procesamiento de aguacate, generan subproductos y desechos denominados ingredientes no tradicionales, los cuales se pueden aprovechar en la alimentación animal (Avilés-Ríos et al., 2009).

El aguacate está catalogado como un fruto originario de México y América Central, el cual se consume desde hace 10,000 años (Araújo et al., 2018). México es el principal productor de aguacate, con aproximadamente 38 % de la producción mundial (Gutiérrez-Contreras et al., 2010). Durante el procesamiento del aguacate, se obtienen diversos productos de valor agregado, como guacamole, aceites esenciales y puré; sin embargo, este proceso genera una cantidad considerable de residuos, que representan cerca del 30 % del fruto, ya que solo se utiliza la pulpa (Barbosa-Martín et al., 2016). En la región del Bajío, la Congeladora y Empacadora Nacional, S. A. de C. V. procesa anualmente un promedio de 12,000 t de aguacate y genera 4,800 t de desecho (Avilés-Ríos et al., 2009). Estos residuos tienen un valor nutricional importante y pueden ser una fuente potencial de energía. Además, los residuos de aguacate contienen compuestos que pueden ofrecer beneficios para la salud animal (de Evan et al., 2020). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue identificar los compuestos bioactivos que tienen los residuos de la agroindustria del aguacate y que pueden ser un ingrediente alternativo en la alimentación animal en las zonas áridas y semiáridas de México.

## Materiales y métodos

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, ubicada en el Ejido Palma de la Cruz, municipio de Soledad de Graciano Sánchez (101° 01' 20" LO y 22° 12' 27" LN, a 1,883 m s. n. m). El clima de la región es seco templado, con una temperatura media anual de 16 °C y precipitación media anual de 400 mm (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), 2011).

Las muestras de residuos industriales de aguacate se recolectaron semanalmente durante seis semanas. Las

Thomas-Wiley Mill (Thomas Scientific®, USA). Crude protein (CP) content was determined using method 920.105, and ether extract (EE) was measured using method 942.05, both procedures as described by the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2006). Neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were analyzed according to the method of Van Soest et al. (1991).

The characterization of biocompounds in industrial avocado residues was carried out with a composite sample; that is, the six samples were mixed to obtain a homogeneous sample. The extraction was performed with an ultrasonic processor (GEX130, 115 V 50/60 Hz) equipped with a 3 mm titanium tip and mechanical stirrers (Cole-Parmer®, USA). For this, 1 g of residue was mixed with 10 mL of acetone; subsequently, the organic phase was separated, concentrated to 1 mL of extracted mixture and evaporated (Zymark TurboVap LV Evaporator, USA) for final analysis.

The extract characterization was performed using a gas chromatograph (HP 6890) coupled to a mass spectrometer (HP 5973) (GC-MS). The system was equipped with a capillary column measuring 60 m in length, 0.255 mm in diameter, and with a 0.25  $\mu\text{m}$  film thickness (HP 5MS, Agilent). The analysis was carried out under the following conditions: 70 °C for 2 min, followed by an increase to 250 °C at a rate of 20 °C·min<sup>-1</sup>; then, the temperature was raised to 290 °C at 5 °C·min<sup>-1</sup>, then to 300 °C at 1 °C·min<sup>-1</sup>, and finally up to 310 °C at 5 °C·min<sup>-1</sup>, holding this final temperature for 36 min. The injector temperature was set at 250 °C in splitless mode, with a helium flow of 1 mL·min<sup>-1</sup>. Mass spectrometry was programmed in SCAN mode (50-500 m/z) for compound identification.

## Results and discussion

The proximal analysis indicated that processed industrial avocado residues in the Bajío region contained 93.35 % DM, 5.74 % CP, 17.5 % EE, 32.14 % NDF, 26.58 % ADF, and 5.59 % ash (dry basis) (Table 1). Determining the chemical composition of a food is a routine, quick, and economical method used to estimate its nutritional value. This method is based on the relationship between the analyzed chemical components and the quality of the food (Van Soest, 1982). However, no single parameter of chemical composition can adequately predict nutritional value. Nevertheless, the combination of several analyses can provide a better estimation of the food's nutritional value.

The results of chemical analysis indicated that industrial avocado residues have a reduced CP content, comparable to that of maize grain, used as an energy source (Church & Pond, 1988). Protein quality is crucial

seis muestras se secaron en una estufa de aire forzado a 55 °C por 72 h; después, se pesaron para registrar el peso de la materia seca (MS). Las muestras se cribaron con una malla de 1 mm de diámetro y se molieron en un molino (Thomas-Wiley Mill, Thomas Scientific®, EUA). Posteriormente, se determinó el contenido de proteína cruda (PC) por el método 920.105 y el extracto etéreo (EE) mediante el método 942.05, ambos procedimientos descritos por la *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2006). La fibra detergente neutro (FDN) y la fibra detergente ácido (FDA) se analizaron conforme al método de van Soest et al. (1991).

La caracterización de biocompuestos de los residuos industriales de aguacate se realizó con una muestra compuesta; es decir, se mezclaron las seis muestras para tener una muestra homogénea. La extracción se realizó con un procesador ultrasónico (GEX130, 115 V 50/60 Hz) equipado con una punta de titanio de 3 mm y agitadores mecánicos (Cole-Parmer®, EUA). Para ello, se mezcló 1 g de residuo con 10 mL de acetona; posteriormente, se separó la fase orgánica, se concentró a 1 mL de mezcla extraída y se evaporó (Zymark TurboVap LV Evaporator, EUA) para el análisis final.

La caracterización del extracto se realizó con un cromatógrafo de gases (HP 6890) acoplado a espectrometría de masas (HP 5973) (GC-MS). El sistema contaba con una columna capilar de 60 m de longitud, 0.255 mm de diámetro y 0.25  $\mu\text{m}$  de espesor de película (HP 5MS, Agilent). El análisis se realizó bajo las siguientes condiciones: 70 °C durante 2 min, seguido de un incremento hasta 250 °C a razón de 20 °C·min<sup>-1</sup>; después, la temperatura se aumentó a 290 °C a razón de 5 °C·min<sup>-1</sup>, luego a 300 °C a razón de 1 °C·min<sup>-1</sup> y, finalmente, incrementó hasta 310 °C a razón de 5 °C·min<sup>-1</sup>, manteniéndose así 36 min. La temperatura del inyector fue de 250 °C en modo "splitless", con un flujo de helio de 1 mL·min<sup>-1</sup>. La espectrometría de masas se programó en modo SCAN (50-500 m/z) para la identificación de compuestos.

## Resultados y discusión

El análisis proximal indicó que los residuos industriales de aguacate procesados en la región del Bajío contenían 93.35 % de MS, 5.74 % de PC, 17.5 % de EE, 32.14 % de FDN, 26.58 % de FDA y 5.59 % de cenizas (base seca) (Cuadro 1). La determinación de la composición química de un alimento es un método rutinario, rápido y económico utilizado para estimar su valor nutritivo. Esta se basa en la relación entre los componentes químicos analizados y la calidad del alimento (van Soest, 1982). Sin embargo, ningún parámetro individual de la composición química puede predecir adecuadamente el valor nutritivo. No obstante, la combinación de varios análisis puede proporcionar una mejor estimación del valor nutritivo del alimento.

**Table 1. Proximal analysis of industrial avocado residues generated in the Bajío region, Mexico.****Cuadro 1. Análisis proximal de residuos industriales de aguacate generados en la región del Bajío, México.**

Component based on dry matter (DM)/ Componente con base en materia seca (MS)	Amount (%) / Cantidad (%)
Dry matter /Materia seca	93.35
Crude protein /Proteína cruda	5.74
Ether extract /Extracto etéreo	17.5
Neutral detergent fiber /Fibra detergente neutro	32.14
Acid detergent fiber /Fibra detergente ácido	26.58
Ash /Cenizas	5.59
Organic matter /Materia orgánica	94.4

in selecting ingredients for the feeding of livestock animals, and processing methods can directly affect that quality. In this context, three factors have been identified as influencing the nutritional quality of proteins: 1) amino acid composition, 2) amino acid availability or digestibility, and 3) the presence or absence of biological components (Aherne & Kenelley, 1982). Despite the low CP content in avocado residues, NDF and FDA levels were high, so they could be compared with those of wheat bran, considered a medium quality ingredient (Skenjana, 2011). Thus, high fiber contents result in a higher proportion of indigestible components.

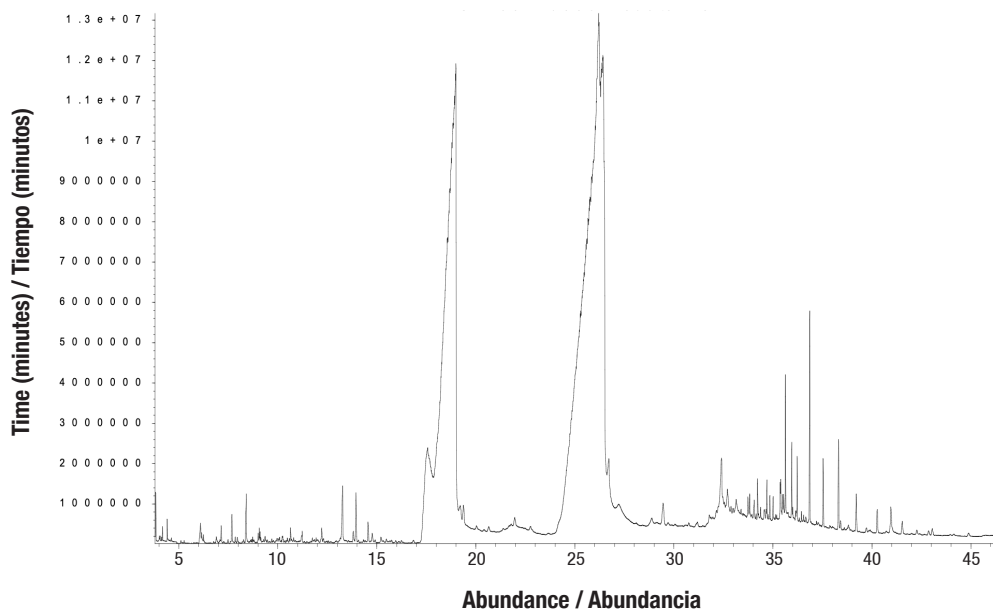
One of the main characteristics of avocado is its high lipid content, which ranges from 10 to 30 %, depending on the variety, seasonality, and, in the case of industrial by-products, the processing method (Qin et al., 2016). In plants, fats or oils can be found in various forms (Goodridge, 1985). Fat is a concentrated energy source in animal diets, providing up to 2.25 times more energy than carbohydrates (Schingoethe, 1991). Besides its energy value, fat is essential as a source of fatty acids vital to animal health (Rooke et al., 2003). According to Krumreich et al. (2018), oleic acid is the most abundant fatty acid in avocado industrial by-products, followed by linoleic, palmitic, vaccenic, and palmitoleic acids. Evan et al. (2020) mention that monounsaturated fatty acids account for two-thirds of the total fatty acids, while saturated and polyunsaturated fatty acids constitute only 15.9 and 16.2 %, respectively

The analysis of avocado industrial residue extract, conducted using GC-MS, identified 129 compounds, some of which have biological activity (Figure 1). Table 2 shows 36 of these compounds with their relative quantities, collectively representing 90.79 % of the total. The most abundant metabolites were oleic acid (39.04%), hexadecanoic acid (22.34 %), oleic acid (4.61 %), cyclopropaneoctanal (1.8 %), stigmasterol (1.48 %), and cis-p-Menth-8(10)-en-9-ol (1.01 %).

Los resultados del análisis químico indicaron que los residuos industriales de aguacate tienen un contenido reducido de PC, comparable al del grano de maíz, utilizado como fuente de energía (Church & Pond, 1988). La calidad de la proteína es crucial en la selección de los ingredientes destinados a la alimentación de animales de interés zootécnico, y los métodos de procesamiento pueden afectar directamente dicha calidad. En este contexto, se han identificado tres factores que influyen a la calidad nutricional de las proteínas: 1) la composición de aminoácidos, 2) la disponibilidad o digestibilidad de los aminoácidos y 3) la presencia o ausencia de componentes biológicos (Aherne & Kenelley, 1982). A pesar del bajo contenido de PC en los residuos de aguacate, los niveles de FDN y FDA fueron elevados, por lo que se podrían comparar con los del salvado de trigo, considerado un ingrediente de calidad media (Skenjana, 2011). De esta manera, los contenidos elevados de fibra resultan en una mayor proporción de componentes indigestibles.

Una de las principales características del aguacate es su alto contenido lipídico, el cual oscila entre un 10 y 30 %, dependiendo de la variedad, la estacionalidad y, en caso de subproductos industriales, del procesamiento (Qin et al., 2016). En las plantas, las grasas o aceites se pueden encontrar en diversas formas (Goodridge, 1985). La grasa es una fuente concentrada de energía en la dieta animal, al proporcionar hasta 2.25 veces más energía que los carbohidratos (Schingoethe, 1991). Además de su valor energético, la grasa es fundamental como fuente de ácidos grasos esenciales para el organismo animal (Rooke et al., 2003). De acuerdo con Krumreich et al. (2018), el ácido oléico es el ácido graso más abundante en los residuos industriales de aguacate, seguido por los ácidos linoleico, palmítico, vaccénico y palmitoleico. De Evan et al. (2020) mencionan que los ácidos grasos monosaturados representan dos tercios del total de ácidos grasos, mientras que los saturados y los poliinsaturados constituyen solo el 15.9 y 16.2 %, respectivamente.





**Figure 1. Ion chromatogram of chemical components in avocado industrial residue samples from the Bajío Region, Mexico.**

**Figura 1. Cromatograma iónico de componentes químicos en muestra de residuos industriales de aguacate en la región del Bajío, México.**

According to The Nutraceuticals Research Institute, nutraceuticals (commonly known as phytochemicals or functional foods) are natural bioactive chemical compounds with medicinal properties that promote health or prevent diseases (Wildman, 2000). Among the compounds found is  $\beta$ -sitosterol, with levels similar to those found in soy and olives (Gómez et al., 1991). This compound inhibits intestinal cholesterol absorption in humans and has the potential to prevent cancers such as breast cancer and colon cancer (Acosta-Moreno, 2011). Another relevant compound identified was vitamin E, which acts as a stabilizer of cell membranes and neutralizes free radicals responsible for oxidative stress, associated with aging, degenerative diseases, and cancer (Sangines, 2008). Additionally, squalene plays a key role in steroid synthesis and has demonstrated antioxidant, antitumor, and cytoprotective properties (Auffray, 2007; Passi et al., 2002).

The analysis of the extract from avocado industrial residues suggests the presence of nutraceutical components, as well as a mixture of high-quality lipids, such as oleic, hexadecanoic, octadecanoic, and pentadecanoic acids. De Evan et al. (2020) mention that the use of avocado residues in the diets of lactating goats tends to increase the fat content in milk and induces slight changes in the fatty acid profile. Supplementation with oils rich in long-chain fatty acids has shown benefits in animal production in arid areas by improving the composition of the final products. Lerma-Reyes et al. (2018) supplemented goats with

El análisis del extracto de los residuos industriales de aguacate, realizado por GC-MS, identificó 129 compuestos, algunos de ellos con actividad biológica (Figura 1). En el Cuadro 2 se muestran 36 de estos compuestos con sus cantidades relativas, los cuales en conjunto representan el 90.79 % del total. Los metabolitos más abundantes fueron el ácido oleico (39.04 %), ácido hexadecanoico (22.34 %), ácido oleico (4.61 %), ciclopropanooctanal (1.8 %), estigmasterol (1.48 %) y p-Menth-8(10)-en-9-ol, cis (1.01 %).

De acuerdo con *The Nutraceuticals Research Institute*, los nutraceuticos (conocidos comúnmente como fitoquímicos o alimentos funcionales) son compuestos químicos bioactivos naturales con propiedades medicinales, que promueven la salud o previenen enfermedades (Wildman, 2000). Entre los compuestos encontrados está el  $\beta$ -sitosterol, con niveles similares a los encontrados en la soya y aceitunas (Gómez et al., 1991). Dicho compuesto inhibe la absorción intestinal del colesterol en humanos y tiene potencial para prevenir cánceres como el de mama y colon (Acosta-Moreno, 2011). Otro compuesto relevante identificado fue la vitamina E, la cual actúa como estabilizador de las membranas celulares y neutraliza los radicales libres responsables del estrés oxidativo, asociado al envejecimiento, enfermedades degenerativas y cáncer (Sangines, 2008). Asimismo, el escualeno desempeña un papel clave en la síntesis de esteroides y ha demostrado propiedades antioxidantes, antitumorales y citoprotectoras (Auffray, 2007; Passi et al., 2002).

**Table 2. Main compounds identified in avocado industrial residue extract using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), obtained in the Bajío Region, Mexico.**

**Cuadro 2. Principales compuestos identificados en el extracto de residuos industriales de aguacate mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS), obtenidos en la región del Bajío, México.**

Elution order/ Orden elución	Retention time (min)/ Tiempo de retención (min)	Compound/ Compuesto	Relative quantity (%)/ Cantidad relativa (%)
1	6.15	Hexanoic acid / Ácido hexanoico	0.53
2	6.89	1,3-Bis(trimetilsilil)benzene / 1,3-Bis(trimetilsilil)benceno	0.72
3	8.40	Nonanoic acid / Ácido nonanoico	0.49
4	10.24	2-n-Octylfuran / 2-n-Octilfurano	0.51
5	12.22	Ciclopentadecanone / Ciclopentadecanona	0.58
6	13.16	Tetratriacontane / Tetratriacontano	0.67
7	13.27	Tetradecanoic acid / Ácido tetradecanoico	0.66
8	13.81	4-Tetradecyn / 4-Tetradecino	0.60
9	13.95	2-n-Octylfuran / 2-n-Octilfurano	0.58
10	14.55	2-n-Octylfuran / 2-n-Octilfurano	0.62
11	14.76	Bicycloheptane, 2,6,6-trimethyl / Bicicloheptano, 2,6,6-trimetil	0.77
12	15.20	Pentadecanoic acid / Ácido pentadecanoico	0.73
13	18.27	Hexadecanoic acid / Ácido hexadecanoico	22.34
14	19.37	1-Pentadecene / 1-Pentadecino	1.32
15	25.06	Oleic acid / Ácido oleico	39.07
16	29.45	Ciclohexane, 1,5-diethenyl-2,3-dimethyl / Ciclohexano, 1,5-diethenil-2,3-dimetil	1.14
17	31.79	9,12-octadecadienoic acid / Ácido 9,12-octadecadienoico	4.61
18	32.41	Cyclopropanooctanal / Ciclopropanooctanal	1.80
19	33.74	9,17-Octadecadienal / 9,17-Octadecadienal	0.84
20	34.23	Eicosane / Eicosano	0.49
21	34.38	Phenol, 2,2'-metilenebis / Fenol, 2,2'-metilenebis	0.72
22	34.56	Cis-p-Menth-8(10)-en-9-ol / p-Menth-8(10)-en-9-ol, cis	1.01
23	34.84	Cyclohexanone, 5-methyl-2 / Ciclohexanona, 5-metil-2	0.52
24	35.01	Hexacosane / Hexacosano	0.52
25	35.54	8-Methylindolizine / Indolizina, 8-metil	0.51
26	36.44	Squalene / Escualeno	0.77
27	37.54	Triacotane / Triacotano	0.49
28	38.31	Nonacosane / Nonacosano	0.49
29	38.81	Vitamine E / Vitamina E	0.76
30	39.21	Dotriacontane / Dotriacontano	0.59
31	39.72	1-Methyl-4-hexahydropyridine / Hexahidropiridina, 1-metil-4-	0.74
32	40.27	Nonadecane / Nonadecano	0.67
33	40.95	Stigmasterol / Estigmasterol	1.48
34	41.53	Heptacosane / Heptacosano	0.81
35	42.86	1,3-Bis-benzene / 1,3-Bis-benceno	0.80
36	43.05	Octadecane / Octadecano	0.84

soybean and canola oil in the Mexican Plateau of San Luis Potosí and observed changes in fatty acids in milk, identified as anti-mutagenic substances with potential anti-cancer properties.

## Conclusions

The industrial residues from avocados generated in the Bajío region has a chemical composition comparable to that of certain conventional ingredients used in dietary feeds. Additionally, these residues contain many bioactive compounds and beneficial long-chain fatty acids for animal health.

### End of the English version

## References / Referencias

- Acosta-Moreno, M. C. (2011). *Evaluación y escalamiento del proceso de extracción de aceite de aguacate utilizando tratamiento enzimático*. [Master's Thesis in Chemical Engineering]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/7633>
- Aherne, F. X., & Kennelly, J. J. (1982). Oilseed meals for livestock feeding. In W. Haresing (Ed.), *Recent advances in animal nutrition* (pp. 39-89). Butterworths, London.
- Araújo, R. G., Rodríguez-Jasso, R. M., Ruiz, H. A., Pintado, M. M., & Aguilar, C. N. (2018). Avocado by-products: Nutritional and functional properties. *Trends in Food Science and Technology*, 80, 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2006). *Official methods of analysis*. (18<sup>th</sup> edition). AOAC. [www.aoac.org](http://www.aoac.org)
- Auffray, B. (2007). Protection against singlet oxygen, the main actor of sebum squalene peroxidation during sun exposure, using *Commiphora myrrha* essential oil. *International Journal of Cosmetic Science*, 29(1), 23-29. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2494.2007.00360.x>
- Avilés-Ríos, E. D., Espinosa-García, J. A., Rentería-Flores, J. A., Mejía-Guadarrama, C. A., Mariscal-Landín, G., & Cuarón-Ibargüengoytia, J. A. (2009). Disponibilidad de ingredientes no tradicionales con potencial de ser usados en la alimentación de cerdas gestantes en el Bajío mexicano. *Veterinaria México*, 40(4), 357-370. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-50922009000400002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-50922009000400002&lng=es&tlng=es)
- Barbosa-Martín, E., Chel-Guerrero, L., González-Mondragón, E., & Betancur-Ancona, D. (2016). Chemical and technological properties of avocado (*Persea americana* Mill.) seed fibrous residues. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 457-463. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.09.006>
- Church, D.C., & Pond, W.G. (1988). *Basic animal nutrition and feeding* (3rd edition). John Wiley and Sons.
- de Evan, T., Carro, M. D., Fernández-Yepes, J. E., Haro, A., Arbesú, L., Romero-Huelva, M., & Molina-Alcaide, E. (2020). Effects of feeding multinutrient blocks including avocado pulp and peels to dairy goats on feed intake and milk yield and

El análisis del extracto de los residuos industriales de aguacate sugiere la presencia de componentes nutracéuticos, así como una mezcla de lípidos de alta calidad, como ácido oleico, hexadecanoico, octadecanoico y pentadecanoico. De Evan et al. (2020) señalan que el uso de residuos de aguacate en dietas de cabras lactantes tiende a incrementar el contenido de grasa en leche y a inducir ligeros cambios en el perfil de ácidos grasos. La suplementación con aceites ricos en ácidos grasos de cadena larga ha demostrado beneficios en la producción animal en zonas áridas, al mejorar la composición de los productos finales. Lerma-Reyes et al. (2018) suplementaron cabras con aceite de soya y canola en la región del Altiplano de San Luis Potosí, y observaron cambios en los ácidos grasos en la leche, identificados como sustancias anti-mutágenas con potencial anticancerígeno.

## Conclusiones

Los residuos industriales de aguacate generados en la región del Bajío presentan una composición química comparable a la de ciertos ingredientes convencionales utilizados en dietas alimenticias. Además, estos residuos contienen numerosos compuestos bioactivos y ácidos grasos de cadena larga benéficos para la salud animal.

### Fin de la versión en español

- composition. *Animals*, 10(2),194. <https://doi.org/10.3390/ani10020194>
- Gómez, C. (1991). Cowpea: Post-harvest operations. In D. Mejía, & E. Parrucci (Eds), *Compendium on post-harvest operations*. FAO. <https://www.fao.org/fileadmin/templates/inpho/documents/Cowpea%20Postharvest%20III%20Definit.pdf>
- Goodridge, A. G. (1985). Fatty acid synthesis in Eukaryotes. In D. E. Vance, & J. E. Vance (Eds), *Biochemistry of lipids and membranes* (pp. 143-180). The Benjamin/Cummings Publishing, Inc. California.
- Gutiérrez-Contreras, M., Lara-Chávez, M. B. N., Guillén-Andrade, H., & Chávez-Bárceñas, A. T. (2010). Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia*, 35(9), 647-653. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33914212003.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (2011). *Censo de población y vivienda 2010*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- Krumreich, F. D., Borges, C. D., Mendonça, C. R. B., Jansen-Alves, C., & Zambiasi, R. C. (2018). Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes. *Food Chemistry*, 257, 376-381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.048>
- Lerma-Reyes, I., Mendoza-Martínez, G. D., Rojo-Rubio, R., Mejía, M., García-López, J. C. & Lee-Rangel, H. A. (2018). Influence of supplemental canola or soybean oil on milk yield, fatty acid profile and postpartum weight changes in grazing

- dairy goats. *Asian-Australas Journal of Animal Science*, 31(2), 225-229. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0058>
- Passi, S., de Pità, O., Puddu, P., & Littarru, G. P. (2002). Lipophilic antioxidants in human sebum and aging. *Free Radical Research*, 36(4), 471-477. <https://doi.org/10.1080/10715760290021342>
- Qin, X., & Zhong, J. (2016). A review of extraction techniques for avocado oil. *Journal of Oleo Science*, 65(11), 881-888. <https://doi.org/10.5650/jos.ess16063>
- Rivera, J., Losada, H., Grande, D., Cortes, J., & Sosa, F. (2007). Uso de calendarios estacionales en la producción de goma de mezquite (*Prosopis laevigata*) como una alternativa en el manejo sustentable en el Ejido de Llanos de la Angostura, San Luis Potosí. México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 15(1), 514-518.
- Rooke, J. A., Ferguson, E. M., Sinclair, A. G., & Speake, B. K. (2003). Fatty acids and reproduction in the pig. In P. C. Garnsworthy, & J. Wiseman (Eds.), *Recent Advances in Animal Nutrition* (pp. 47-66). Nottingham University Press.
- Sangines, L. (2008). *Aguacates en alimentación humana y animal: una reseña corta*. Instituto de Investigaciones Porcinas.
- Schingoethe, D. J. (1991). By-products feeds: Feed analysis and interpretation. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 7(2), 577-584. [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30787-8](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30787-8)
- van Soest, P. J. (1982). *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press.
- Skenjana, A. (2011). *The potential nutritive value of waste products from the sub-tropical fruit processing industry as livestock feed*. [Master's Thesis in Animal Nutrition]. University of Pretoria. <https://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/26653/dissertation.pdf;sequence=1>
- van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Wildman, R. E., & Bruno, R. S. (2000). *Handbook of nutraceuticals and functional foods*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420036695>