



Cómo citar este artículo

Sajama, J.N., Curti, C.A., Toconás, N.M., Villalva, F.J., Alcócer, J.C., Gonclavez de Oliveira, E. y Ramón, A.N. (2023). Revalorización de un residuo alimentario para la extracción y microencapsulación del aceite de semilla de calabaza (*cucurbita máxima dúchense ex lam*). *MLS Health & Nutrition Research*, 2(1), 67-82

**REVALORIZACIÓN DE UN RESIDUO ALIMENTARIO PARA LA
EXTRACCIÓN Y MICROENCAPSULACIÓN DE ACEITE: SEMILLA
DE CALABAZA (*CUCURBITA MAXIMA DUCHESNE EX LAM*)**

Jaquelina Noemi Sajama

Universidad Nacional de Salta (Argentina)

jackisajama8@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-3964-2946>

Carolina Antonela Curti

Universidad Nacional de Salta (Argentina)

carolinaacurti@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-2545-1428>

Nancy Mariela Toconás

Universidad Nacional de Salta (Argentina)

marielatoconassaa@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-2140-7032>

Fernando Josue Villalva

Universidad Nacional de Salta (Argentina)

ferchuvillal@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-1703-3496>

Jimena Cecilia Alcócer

Universidad Nacional de Salta (Argentina)

alcocerjimena20@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5229-7262>

Enzo Goncalvez de Oliveira

Universidad Nacional de Salta (Argentina)

enzogoncalvez03@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-2886-5714>

Adriana Noemi Ramón

Universidad Nacional de Salta (Argentina)

adrianayricardo@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-3458-4959>

Resumen. Los sistemas alimentarios generan una cantidad importante de desperdicios alimentarios, como las semillas de calabaza que son descartadas antes del consumo de la pulpa. Éstas son fuente de nutrientes que pueden utilizarse para mejorar la alimentación humana. El objetivo de este estudio fue extraer, caracterizar y microencapsular el aceite de semillas de calabaza descartadas peladas y sin pelar. Se probaron cinco métodos para extraer el aceite y se determinó perfil de ácidos grasos. El aceite se microencapsuló mediante secado por aspersión usando goma arábica y maltodextrina como materiales de pared y se caracterizó las microcápsulas. Finalmente se evaluó estabilidad al almacenamiento durante un periodo de tiempo de 40 días. Las semillas de calabaza peladas mostraron mayor contenido de grasas (52,33%). La extracción asistida por solvente resultó efectiva para la extracción de aceite. El aceite extraído mostró altos contenidos de ácido linoleico (62,98%) y oleico (17,69%). La eficiencia de encapsulación después del secado por atomización fue superior al 90%. Las microcápsulas tenían un tamaño de 5-20 μm , con formas esféricas y cóncavas, con superficie lisa, sin poros ni grietas, lo que permitió mantener el principio activo dentro de la capsula y aumentar la estabilidad. Tanto el aceite de semilla de calabaza como las microcápsulas se mantuvieron estables frente a la oxidación durante el almacenamiento. El aceite presentó buenas características nutricionales con altos contenidos ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados. El sistema goma arábica-maltodextrina resultó eficaz para la microencapsulación con características morfológicas favorables.

Palabras clave: aceite; calabaza; extracción, microencapsulación; semillas.

REVALUATION OF A FOOD RESIDUE FOR THE EXTRACTION AND MICROENCAPSULATION OF OIL: PUMPKIN SEED (*CUCURBITA MAXIMA DUCHESNE EX LAM*)

Abstract. Food systems generate a significant amount of food waste, such as pumpkin seeds that are discarded before the pulp is consumed. These are a source of nutrients that can be used to improve human nutrition. The objective of this study was to extract, characterize, and microencapsulate oil from peeled and unpeeled discarded pumpkin seeds. Five methods to extract the oil were tested and the fatty acid profile was determined. The oil was microencapsulated by spray drying using acacia gum and maltodextrin as wall materials and the microcapsules characterized. Finally, storage stability was evaluated for a period of 40 days. Peeled pumpkin seeds showed higher fat content (52.33%). Solvent-assisted extraction was effective for oil extraction. The extracted oil showed high linoleic (62.98%) and oleic (17.69%) acid contents. The encapsulation efficiency after spray drying was more than 90%. The microcapsules were 5-20 μm in size, with spherical and concave shapes, with a smooth surface, without pores or cracks, which allowed the active principle to be kept inside the capsule and increased stability. Both the pumpkin seed oil and the microcapsules were stable against oxidation during storage. The oil presented good nutritional characteristics with high contents of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids. The gum arabic-maltodextrin system was effective for microencapsulation with favorable morphological characteristics.

Keywords: microencapsulation, extraction, oil, pumpkin, seeds.

Introducción

En la actualidad, los sistemas alimentarios generan importantes pérdidas y desperdicios de alimentos que se desechan en los diferentes eslabones de la cadena alimentaria por distintas razones, que pueden ser consecuencia tanto de la acción humana como de factores externos; ambientales o de cultivo ⁽¹⁾.

Reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos (PDA) es una necesidad imperiosa y los consumidores son uno de los pilares fundamentales para contribuir en esta causa, ya que por cada producto que se desecha, se desaprovechan nutrientes, agua y energía; provocando no solo deterioro ambiental sino también grandes mermas económicas ⁽²⁾. Según investigaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el mundo

842 millones de personas sufren hambre y el 30% de los alimentos que se producen se pierden o desperdician, esto es alrededor de 1.300 millones de toneladas, equivalentes a un tercio de la producción mundial⁽³⁾.

La calabaza o zapallo, es una de las especies que integra la familia de las Cucurbitáceas, representada por alrededor de 120 géneros y 800 especies. El género Cucurbita es nativo del continente americano. Incluye cerca de 27 especies que pueden ser anuales o perennes y son cultivadas principalmente para el consumo de sus frutos al estado maduro o inmaduro, pero también se consumen otras partes de la planta como las semillas, hojas y flores⁽⁴⁾.

Las semillas de calabaza se descartan como residuos vegetales antes de su consumo, éstas contienen importantes cantidades de compuestos nutritivos como lípidos y proteínas⁽⁵⁾ que aportan hasta el 80 - 85% del peso seco del embrión⁽⁴⁾. Se componen de un 40 a 52% de aceite, de los cuales 29% es ácido oleico y 51,9% ácido linoleico; además contienen proteínas, minerales (magnesio, fósforo, cobre, potasio, hierro, zinc, manganeso), β -caroteno y γ -tocoferol⁽⁶⁾.

Las semillas oleaginosas se utilizan como materia prima para la obtención de aceites comestibles ya que acumulan lípidos, proteínas y carbohidratos como sustancias de reserva⁽⁷⁾. La principal característica de las células de estas semillas es la existencia de organelas celulares llamadas cuerpos lipídicos y proteínicos, las cuales contienen respectivamente, la mayoría del aceite y proteínas del grano⁽⁸⁾. Los cuerpos lipídicos (también llamados oleosomas o esferosomas) son el sitio de reserva de lípidos, los cuales están inmersos en una red citoplasmática, compuesta de proteína y su tamaño frecuente oscila entre 1 a 2 μm ^(8,9). Las paredes celulares están compuestas de celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina; y su ruptura durante los diferentes procesos de extracción (solventes orgánicos, fluidos supercríticos, prensado y enzimas hidrolíticas) expone el aceite localizado en el interior de la célula y facilita la filtración del solvente, dentro del cual los lípidos pueden difundir⁽⁸⁾.

Los aceites vegetales proveen ácidos grasos esenciales que el organismo no puede sintetizar y se deben ingerir con la alimentación, como el ácido linoleico y linolénico (rango de ingesta entre el 2,5 y el 9% de la energía), los cuales influyen en la prevalencia y gravedad de las enfermedades crónicas no transmisibles tales como diabetes, cáncer, cardiopatías y la disminución funcional vinculada con la edad^(10,11).

Estudios sobre la composición química del aceite de semillas calabaza, de distintos orígenes y variedades, describen la presencia de cuatro ácidos grasos en cantidades significativas como lo son el ácido linoleico, oleico, palmítico y esteárico^(6, 12, 13, 14), los dos primeros, ampliamente reconocidos por sus beneficios para la salud⁽¹⁵⁾.

La microencapsulación es una tecnología que permite encapsular principios o ingredientes activos (materiales centrales o de núcleo) recubiertos por una pared polimérica con propiedades hidrofóbicas y/o hidrofílicas (encapsulado o material de pared). Los productos resultantes se designan como micropartículas⁽¹⁶⁾, con tamaños que varían desde 1 hasta 1000 μm ⁽¹⁷⁾. La industria alimentaria la aplica por sus múltiples beneficios: brinda protección contra factores como calor, aire, luz, humedad y oxígeno, previene la volatilización y extiende la vida útil de aceites y ácidos grasos esenciales, mejora el sabor, aroma, estabilidad, valor nutritivo y apariencia del alimento elaborado, permite la transformación de sustancias activas líquidas en sólidas, facilita su manipulación en la industria, otorga resistencia al procesamiento, almacenamiento, transporte y comercialización, permite controlar la liberación de las sustancias microencapsuladas y facilita su inclusión como ingrediente dentro de la industria alimenticia^(16, 18, 19, 20).

Diversos estudios realizados en el aceite de semilla de calabaza concluyeron que, las características fisicoquímicas del mismo son adecuadas para ser utilizado con fines alimentarios o como materia prima en productos con diversos usos industriales^(5, 10, 21, 22, 23). Por otra parte, investigaciones basadas en la microencapsulación de aceite mediante secado por aspersión, infieren que el empleo de la mezcla polimérica de goma arábica-maltodextrina resulta apropiada para enmascarar de forma eficaz el aceite y obtener micropartículas con características morfológicas deseables que eviten el contacto directo con el oxígeno, previniendo así su degradación y alargando el tiempo de vida útil, además de garantizar una eficiencia de encapsulación superior al 90% y una pérdida por desecación por debajo del 10%^(24, 25).

Un informe realizado por la Comisión para la Cooperación Ambiental, sobre la caracterización y gestión de la pérdida y el desperdicio de alimentos en América del Norte, da prioridad a la reducción de la PDA en la fuente y en la recuperación de alimentos, antes que en el reciclaje y la disposición final de desechos, en las etapas de postcosecha, procesamiento, distribución, venta, servicios de preparación y restauración de alimentos⁽²⁶⁾. Es por ello que, la presente investigación se desarrolló con el objetivo de extraer, caracterizar y microencapsular el aceite de semillas de calabazas, recuperadas de un servicio de alimentación que produce diariamente este tipo de residuos, valorando sus propiedades nutricionales al reincorporarlas al ciclo productivo como potencial ingrediente para la formulación productos alimenticios.

Método

Se planteó la realización de un estudio experimental.

Las semillas de 45 calabazas fueron recolectadas del Comedor Estudiantil de la Universidad Nacional de Salta, Argentina. Las cuales fueron lavadas con agua fría⁽²⁷⁾ y frotadas con una malla de polipropileno (1 mm) para retirar restos de pulpa. El secado de las semillas enteras (con cáscara) se realizó en estufa a 40 ± 1 °C con aire forzado durante 16 horas hasta alcanzar una humedad de $5,7 \pm 1,9\%$ ⁽²¹⁾. Se seleccionó aquellas con ausencia de daños en la superficie y con presencia de pulpa al tacto⁽²⁷⁾, se envasó al vacío en bolsas herméticas “BoiZip” y se almacenaron en refrigeración a una temperatura de 4 ± 2 °C.

Se determinó la composición química en las semillas con (SCC) y sin cáscara (SSC): humedad por desecación en estufa a una temperatura de 105 ± 1 °C, hidratos de Carbono por método de Felhing Cause Bonnas, proteínas por método de Kjeldhal, grasas por método de Soxhlet, cenizas por calcinación en mufla a una temperatura de 600 ± 5 °C, todos según métodos oficiales⁽²⁸⁾.

Se estandarizó el proceso de extracción de aceite mediante diversos métodos, con la finalidad de seleccionar aquel que se adecue a los objetivos y resulte eficaz y eficiente a los fines del trabajo: EA1 utilizando una prensa de mano y ejerciendo presión manual sobre cada una de las semillas sin cáscara; EA2 a través de una prensa hidráulica y utilizando un pastillero de acero inoxidable como recipiente, se ejerció presión sobre las semillas enteras (sin triturar) con y sin cascara, aplicando una fuerza de 4 a 5 toneladas; EA3 con prensa hidráulica, empleando dos placas de acero inoxidable superpuestas, se ejerció presión sobre las semillas sin cáscara (colocadas entre los dos receptáculos) con una fuerza de 4 a 5 toneladas; EA4 empleando una prensa de elaboración casera, se colocó semillas con y sin cáscaras (enteras y trituradas) en el recipiente destinado a tal fin y se ejerció presión de manera manual y EA5 por maceración con solvente orgánico, adaptado a los procesos empleados por Betancurt⁽²³⁾ y

González y Yánez⁽²⁹⁾. Se retiró la cascara de forma manual, se trituro las semillas en molinillo Arcano de acero inoxidable, modelo FW 100, 460 W a 24000 rpm y se pasó por mortero hasta obtener una pasta fina. Se realizó la extracción mezclando con solvente orgánico en una proporción 1:2 (muestra:hexano)⁽²³⁾. La mezcla se dejó en reposo durante 48 horas en refrigeración y con agitación intermitente en agitador magnético Stir Decalab 2000 rpm. Finalmente se centrifugó en centrífuga refrigerante “DAMON/IEC” durante 15 minutos, velocidad 4 para separar el aceite; se evaporó el solvente en rotavapor Lavarota 4000 a 60 – 70 °C a una presión entre 300 – 400 mmHg y se almacenó en frascos de vidrio color ámbar en refrigeración (4 ± 2 °C)⁽²⁹⁾.

La determinación de ácidos grasos se realizó según el método oficial de la AOAC 996.01-1996⁽³⁰⁾ partiendo de una metilación, se colocó 3 g de aceite obtenido por el método EA5 en un balón y se adicionó 10 ml de solución metanólica de NaOH 0,5M, se llevó a reflujo por 10 minutos. Se agregó 10 ml de trifluoruro de boro y continuó a reflujo por 5 minutos. Finalmente, se añadió 10 ml de heptano y se dejó 1 minuto. Se retiró el balón y una vez frío se transfirió el contenido a tubos de centrífuga agregando 5 ml de solución saturada de NaCl. Se centrifugó durante 10 minutos y la capa superior se recogió para el análisis. Estos se inyectaron en un cromatógrafo de gases Clarus 680 acoplado a un espectrómetro de masas Clarus 600, columna capilar Elite-Wax 30 m, usando hidrógeno como gas carrier, los cuales se prepararon de acuerdo al método FAMES⁽³⁰⁾. La lectura se realizó por triplicado y los datos se informaron como porcentajes de área relativa. Los resultados se expresaron en g del ácido graso/100 g de aceite a través del siguiente cálculo:

$$[(A_i) \times (P13:0) / (A13:0) \times (R_i)]$$

A_i = área máxima de la muestra de ácidos grasos individuales como ésteres metílicos

P13:0 = peso (mg) de la muestra

A13:0 = área del pico del estándar interno

R_i = factor de respuesta para cada ácido graso.

La microencapsulación se realizó mediante secado por aspersión. La emulsión se formuló con las siguientes proporciones: goma arábica 24%, maltodextrina 12%, aceite 18% y se completó el volumen con agua destilada⁽³¹⁾. La homogenización se realizó con licuadora de mano por 5 minutos y con Ultra Turrax modelo K41, TRI-R durante 5 minutos más hasta obtener una mezcla homogénea sin separación de fases⁽²⁴⁾.

Se realizó prueba de estabilidad de la emulsión según Carneiro et al.⁽³²⁾: se colocó 50 ml de muestra en una probeta y se almacenó a temperatura ambiente (21 ± 1 °C) durante 24 horas, posteriormente se midió el volumen de separación de fases y se expresó la estabilidad en porcentaje de separación a través de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Separación} = \left(\frac{E1}{H0} \right) \times 100$$

E1: medición de fase superior luego de 24 horas

H0: valor de la emulsión inicial

Se empleó equipo Mini Spray Dryer Buchi B – 290 con un sistema de aspersión con boquilla de 1,5 mm de diámetro. La emulsión se atomizó dentro de una corriente de aire caliente con temperaturas de entrada y salida de 150 y 100 ± 1 °C respectivamente⁽²⁵⁾, bombeo 25% y flujo de aire 30 – 40 m³/h. Las microcápsulas se conservaron en envases de vidrio color ámbar

de 200 ml con tapa a temperatura ambiente (21 ± 1 °C) durante 40 días para medir posteriormente la estabilidad oxidativa.

La caracterización de las microcápsulas para evaluar la calidad de las mismas se realizó a través de las siguientes determinaciones:

- Aceite libre o superficial: se pesó 1 g de las microcápsulas y se agregó 8 ml de hexano. Se agitó manualmente 4 minutos y se pasó por papel de filtro a un vaso de precipitado previamente tratado y pesado. Se evaporó en estufa a 60 °C hasta sequedad y se determinó el contenido de aceite libre por método gravimétrico ⁽³²⁾.

$$\% \text{ Aceite libre} = \left(\frac{V1 - V2}{g \text{ muestra}} \right) \times 100$$

V1: vaso de precipitado con muestra después de la estufa

V2: vaso de precipitado sin muestra luego de ser tratado

- Aceite total: se pesó 0,5 g de polvo, se añadió 4 ml de agua bidestilada y se agitó manualmente hasta disolución. Se añadió hexano/isopropanol (3:1 v/v) y se agitó manualmente durante 5 minutos. Se transfirió a tubo de centrifuga y se centrifugó durante 15 minutos. La fase clara, se pasó a un vaso de precipitado previamente tratado y pesado. Se evaporó en estufa a 60 °C hasta sequedad y la cantidad de aceite extraído se determinó gravimétricamente ⁽³³⁾.

$$\% \text{ Aceite total} = \left(\frac{V1 - V2}{g \text{ muestra}} \right) \times 100$$

V1: vaso de precipitado con muestra después de la estufa

V2: vaso de precipitado sin muestra luego de ser tratado

- Eficiencia de encapsulación (EE): se calculó aplicando la siguiente ecuación ⁽³²⁾:

$$\% EE = \left(\frac{AT - AS}{AT} \right) \times 100$$

AT: es el total de aceite contenida en la capsula

AS: el aceite de superficie

- Carga útil: se calculó tomando la relación de masa del aceite encapsulado a la masa total del polvo ⁽³⁴⁾.

$$\% \text{ Carga útil} = \left(\frac{MA}{MP} \right) \times 100$$

MA (masa de aceite): cantidad de aceite en gramos.

MP (masa de polvo): cantidad de microcápsulas en gramos

- Morfología de las microcápsulas: el tamaño y la forma geométrica de las microcápsulas se observó en microscopio electrónico de barrido (SEM) Jeol (JSM 6480 LV, Tokio, Japón), con un voltaje de aceleración de 15 Kv, incluyendo los sensores de electrones secundarios y retrodispersados, trabajando con alto y bajo vacío. La microfotografía por SEM más representativa fue seleccionada para su presentación ⁽²⁴⁾.

Para determinar la estabilidad al almacenamiento del aceite y de las microcápsulas, las muestras fueron envasadas en recipientes de vidrio color ámbar a temperatura ambiente (21 ± 1 °C) y en oscuridad en un lugar cerrado, a fin de analizar los cambios producidos en el aceite y en las microcápsulas durante un periodo de 40 días de almacenamiento. Luego, a través del

índice de peróxido (IP) y de la prueba del ácido tiobarbitúrico (ATB), se analizaron las alteraciones ocurridas durante el transcurso del tiempo.

Para la determinación del IP se adaptó el método 965.33⁽³⁰⁾, aplicando el siguiente procedimiento:

Se pesó en un erlenmeyer de 250 ml con tapón de vidrio 1 g de aceite, se agregó 30 ml de solvente (3 partes de ácido acético glacial y 2 de cloroformo) y se agitó manualmente durante 1 minuto. Posteriormente se añadió 5 ml de la solución saturada de ioduro de potasio y se dejó reposar 1 minuto en oscuridad con agitación ocasional. Luego, se agregó 50 ml de agua para frenar la reacción y previo a la titulación, se adicionó 5 ml de la solución de almidón al 1%. Se tituló con Tiosulfato de sodio 0,01N hasta viraje final. Simultáneamente se realizó un blanco donde el consumo de Tiosulfato de sodio fue < 0,2 ml. Se calculó aplicando la siguiente ecuación

$$IP = \frac{S \times N \times 1000}{g \text{ muestra}}$$

S: gasto de Tiosulfato de sodio en ml corregido con el blanco

N: normalidad del Tiosulfato de sodio

La determinación de ATB se realizó aplicando el siguiente procedimiento: se pesó 3 g de aceite en un vaso de precipitado y se agregó 10 ml hexano. Posteriormente se trasvasó a una ampolla de decantación y se añadió 10 ml del reactivo ácido tiobarbitúrico (disuelto en ácido acético glacial al 50%), se agitó manualmente por 5 minutos y se dejó reposar hasta que las fases se separaron. Se recolectó la parte inferior en un tubo de ensayo (la parte inferior es la que contiene el malonaldehído) y se colocó en un baño en ebullición por 10 minutos. Pasado el tiempo se enfrió en baño de agua fría hasta temperatura ambiente y a los 5 minutos se realizó la lectura de la absorbancia a 530 nm en un espectrofotómetro. El valor fue expresado en mg MDA/kg⁽³⁵⁾.

$$MDA = \frac{A530 \times 3 \times k \text{ ext.} \times 0,926}{g \text{ muestra}}$$

Los resultados se presentan como media ± desvío estándar. Para encontrar diferencias significativas entre los análisis, se utilizó la prueba t de student para muestras independientes (p < 0,05) y se realizó el cálculo mediante software estadístico InfoStat v. 2016p.

Resultados

La humedad final de todas las semillas enteras luego del tratamiento en estufa fue de 5,33 ± 0,99%. Los resultados de las determinaciones químicas de las semillas de calabaza con (SCC) y sin (SSC) cáscara se muestran en la tabla 1.

Tabla 1

Análisis químico de las semillas de calabaza con y sin cáscara (Cucurbita maxima Duchesne ex Lam.)

Parámetros (100 g)	SCC			SSC		
Humedad (%)	5,00 ^a	±	0,00	4,50 ^b	±	0,00
Carbohidratos (g)	10,26 ^a	±	0,15	7,36 ^b	±	0,43
Proteínas (g)	37,10 ^a	±	0,74	34,13 ^b	±	0,74
Grasas (g)	40,39 ^a	±	0,53	52,33 ^b	±	0,58

Cenizas (g)	3,62a	±	0,25	4,17a	±	0,29
-------------	-------	---	------	-------	---	------

Letras distintas entre filas, indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

La tabla 2 resume las características cualitativas de cada método empleado para la extracción de aceite.

Tabla 2
Características cualitativas de los métodos de extracción

EA1	EA2	EA3	EA4	EA5
				
Dificultad para la recolección de aceite Pérdidas y disminución en el rendimiento Gran cantidad de remanente en los recipientes utilizados				Eficiente para la recolección de aceite Menor pérdida Menor remanente Menor costo por mayor rendimiento (31,86 ± 3,98%).

En la figura 1 se observa el aceite resultante de la extracción.



Figura 1
Aceite de semilla de calabaza (Cucurbita maxima Duchesne ex Lam)

Se observó la presencia de cuatro ácidos grasos en el aceite extraído por el método EA5: ácido linoleico (18:2) 62,98 ± 2,47%, oleico (18:1) 17,69 ± 0,64%, palmítico 12,06 ± 1,03% y esteárico 6,02 ± 0,90%.

La emulsión preparada para la microencapsulación a las 24 horas después de su homogeneización se encontraba cinéticamente estable (0% separación de fases). El porcentaje de carga de goma arábiga mejoró la estabilidad del encapsulado y la maltodextrina contribuyó a la formación de un polvo fino y de color uniforme tal como se observa en la figura 2.



Figura 2

Microcápsulas de aceite de semilla de calabaza (Cucurbita maxima Duchesne ex Lam)

Los parámetros aplicados para caracterizar a las microcápsulas y los resultados obtenidos, se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Caracterización de las microcápsulas de aceite de semilla de calabaza

Parámetros	Valor		
Aceite libre (%)	2,33	±	0,57
Aceite total (%)	25,33	±	1,15
EE (%)	90,71	±	2,77
Carga útil (%)	20,59	±	1,15

Las características morfológicas de las microcápsulas presentaron diferentes tamaños que oscilaron entre 5 a 20 μm , con formas esféricas y cóncavas, de superficie lisa, sin poros ni grietas tal como se observa en la figura 3.



Figura 3
Características morfológicas de las microcápsulas

Los resultados de las pruebas de estabilidad al almacenamiento a través de IP y ATB en el aceite y en las microcápsulas, se muestran en la figura 4.

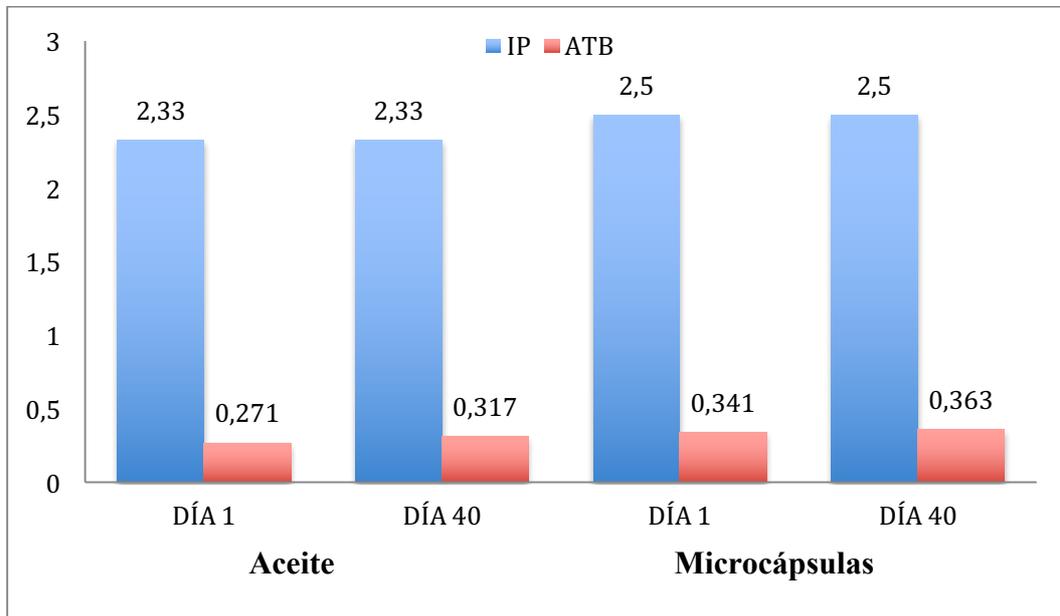


Figura 4
Estabilidad al almacenamiento del aceite y las microcápsulas de semilla de calabaza (Cucurbita maxima Duchesne ex Lam.)

El IP en la muestra aceite fue de $2,33 \pm 0,57$ mEq O₂/kg en el día 1 y 40, valor que se mantuvo estable durante todo el periodo de almacenamiento y sin diferencias estadísticas

significativas ($p < 0,05$). La prueba de ATB arrojó resultados de $0,271 \pm 0,01$ y $0,317 \pm 0,01$ MDA/kg respectivamente ($p < 0,05$).

En las microcápsulas, el valor de IP fue de $2,50 \pm 0,71$ mEq O₂/kg en el día 1 y 40, comportamiento similar al de la muestra de aceite y sin diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$). El resultado de ATB fue de $0,341 \pm 0,01$ y $0,363 \pm 0,01$ MDA/kg respectivamente ($p < 0,05$).

Discusión y conclusiones

El porcentaje de humedad final de todas las semillas fue adecuado para inhibir el crecimiento de microorganismos e inactivar las enzimas que podrían deteriorar a las mismas ⁽³⁶⁾.

Los valores de la composición química comparados a los reportados por Kipping et al. ⁽¹⁵⁾ fueron: humedad similar a lo encontrado de 5,58% SCC y 4,45% SSC; carbohidratos superior a 5,57% y 6,99% en SCC y SSC respectivamente, esta diferencia podría estar asociada a la presencia de fibra en las mismas, al método aplicado para su determinación y a la variedad de la especie utilizada ⁽³⁷⁾; los valores de proteínas y grasas fueron superiores a 28,92% SCC y 24,36% SSC y 35% SCC y 49% SSC respectivamente, obtenidos por Kipping et al. ⁽¹⁵⁾.

La concentración de grasa del presente estudio, comparados con otros aceites vegetales, son similares a los de girasol 43 - 51,1% ⁽³⁸⁾ y colza 40 - 48% y superiores a los de maíz 33%, cártamo 30 - 35% y soja 18 - 22% ⁽³⁷⁾, característica que hace a la materia prima utilizada, fuente potencial y valiosa para la extracción.

La bibliografía reporta diferencia en el contenido de cenizas de 1,43% SCC y 5,37% SSC ⁽²³⁾, 5,3% SCC ⁽³⁷⁾ y 3,95% SSC ⁽³⁹⁾. Las diferencias en la composición, podrían atribuirse a la variedad de la especie, el clima, las prácticas de cultivo, la composición del suelo y la madurez de la hortaliza al momento de la cosecha ^(33,37).

Los métodos EA1, EA2, EA3 y EA4 podrían generar mayor costo si se desea implementar a escala piloto o industrial para la extracción de aceite. El porcentaje de extracción obtenido por el método EA5 supera con el 5 y 9% a lo reportado en la bibliografía ^(14, 23). La utilización de hexano como solvente, otorgó buena solubilidad del aceite y fácil separación del mismo en el proceso de evaporación. El color verde, similar al aceite de oliva, podría atribuirse a la presencia de clorofila en las semillas de calabaza *C. maxima Duchesne ex Lam*.

En cuanto al perfil de ácidos grasos, el contenido de ácido linoleico ($62,98 \pm 2,47\%$) fue superior a lo reportado por Kipping et al. ⁽¹⁵⁾ de 51,87%. Este ácido graso se considera esencial junto al ácido linolénico, puesto que su formación en el organismo no es posible y el equilibrio entre ambos son cruciales en la regulación de procesos inflamatorios tales como síndrome metabólico, diabetes y obesidad ⁽¹¹⁾. El valor de ácido oleico ($17,69 \pm 0,64\%$) fue inferior a los encontrados por otros autores de 29,04% ⁽¹⁵⁾, 31,34% y 32,40% ⁽³⁹⁾. Esto podría atribuirse a la variedad y a la especie ^(5, 37); y estar compensadas por el mayor aporte de linoleico en las semillas estudiadas respecto a la bibliografía citada. El consumo de este ácido graso monoinsaturado, previene y reduce el riesgo de accidentes coronarios y enfermedades metabólicas ⁽¹¹⁾. El contenido de ácido palmítico ($12,06 \pm 1,03\%$) fue similar a lo reportado por Kipping et al. ⁽¹⁵⁾ de 11,64% e inferior a los de Kim et al. ⁽⁴⁰⁾ de 13,14 y 14,07%. Si bien este ácido graso saturado no tiene un efecto benéfico para el organismo, su concentración es baja y con el consumo habitual de este aceite no se podría superar el 10% de la energía diaria recomendada ⁽¹¹⁾. Con respecto al ácido esteárico ($6,02 \pm 0,90$) fue inferior a lo observado en la bibliografía de 7% ⁽¹⁵⁾, 7,33% y 4,67% ⁽⁴⁰⁾. Las diferencias podrían atribuirse a la diversidad genética ⁽³⁷⁾.

La estabilidad de la emulsión podría atribuirse a la capacidad emulsionante de los materiales de pared utilizados que mantuvieron la mezcla invariable ^(24, 32).

El aceite libre fue similar al reportado por López et al. ⁽²⁴⁾ de 2,3%, quien establece además, un límite del 10% para este parámetro. El bajo porcentaje podría atribuirse al papel que desempeña la goma arábica y la maltodextrina al contener el principio activo dentro de capsula ⁽³³⁾.

La proporción de aceite total está relacionado con el %EE, y estos fueron superiores a los alcanzados por Klinkesorn et al. ⁽³³⁾ de 18,37% y 86,94% respectivamente. Según Barbosa et al. ⁽⁴¹⁾ cuanto más estable es la emulsión desde el inicio, mayor será el %EE; pudiendo atribuir esta característica al proceso de elaboración de la mezcla y al sistema goma arábica-maltodextrina que mantuvo la estabilidad del preparado previo al secado por aspersion ⁽²⁴⁾.

La carga útil (cantidad de polvo resultante después del secado) sugiere que el rendimiento del producto fue menor a lo reportado por otros autores de 63,2% ⁽³¹⁾, 82,1% ⁽²⁵⁾ y 97,4% ⁽²⁴⁾; lo cual podría atribuirse a los depósitos de partículas alrededor de la tapa de pulverización y en la pared de la cámara del equipo utilizado, a la temperatura de entrada, a la concentración de polímeros y al modelo de pulverizador utilizado ⁽⁴²⁾.

Según diferentes autores, las características obtenidas por SEM resultan ventajosas, ya que previenen la degradación y alargan el tiempo de vida útil de los encapsulados ^(24, 25).

La oxidación de las grasas, es una de las principales causa del deterioro de los alimentos. Según Jiménez ⁽³⁵⁾, el aumento de ATB podría estar relacionado con el inicio de la formación de compuestos carboxílicos producto de la degradación de ácidos grasos o de peróxidos; sin embargo, las cifras obtenidas no superan el valor de referencia de 0,7 a 1 mg MDA/kg.

Los valores de la estabilidad al almacenamiento del aceite y de las microcápsulas, demuestran que ambas muestras tienden a un comportamiento estable, sin evidencia de oxidación según los resultados obtenidos. En el aceite, podría atribuirse a la presencia de antioxidantes naturales como los tocoferoles (componentes no glicéridos de gran importancia en los aceites vegetales) responsables de la estabilidad oxidativa durante el procesamiento y el almacenamiento ^(21, 39, 36, 43), y en las microcápsulas, a los polímeros utilizados como material de pared (goma arábica y maltodextrina) y al %EE obtenido que otorgaron protección y conservaron a las partículas adecuadamente.

Los resultados de este trabajo, demuestran que fue factible reutilizar un residuo como las semillas de calabaza *Cucurbita maxima Duchesne ex Lam.*, para la extracción de aceite con buenas características nutricionales, destacándose por el aporte de linoleico y oleico. Fue posible microencapsular el aceite mediante el secado por aspersion y el sistema goma arábica-maltodextrina permitió obtener emulsiones estables y homogéneas, con alto porcentaje de eficiencia de encapsulación. El aceite extraído y las microcápsulas se mantuvieron estables durante 40 días de almacenamiento, sin presentar evidencia de deterioro causado por los fenómenos de oxidación.

Referencias

(1) Medina Rey J. “¿Cómo reducir las pérdidas y desperdicios de alimentos?”. Alianza Nacional contra el Hambre y la Malnutrición de España. 2015. [en línea]. [Consultado 08 de enero 2023]. Disponible en: <http://www.fundacioncajaruraldeasturias.com/wp-content/uploads/2016/07/Guia-ACHME.pdf>

- (2) Secretaría de Agroindustria. “Valoremos los alimentos: Manual para aprovechar al máximo los alimentos y evitar el desperdicio”. Alimentos Argentinos. 2018. [en línea]. [Consultado 25 de enero 2023]. Disponible en: <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/ValoremoslosAlimentos/pdf/manual-aprovechar.pdf>
- (3) Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. “Iniciativa mundial sobre la reducción de la pérdida y el desperdicio de alimentos”. 2015. [en línea]. [Consultado 27 de noviembre 2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4068s.pdf>
- (4) Gaspera PD. “Boletín de frutas y hortalizas, Zapallo”. Evolución histórica de los ingresos de Zapallo al Mercado Central de Buenos Aires. INTA. 2018. [en línea]. [Consultado 2 de julio 2022]. Disponible en: http://www.mercadocentral.gob.ar/sites/default/files/docs/boletin-INTA-CMCBA-69-zapallo_0.pdf
- (5) Narvaez GAO, Grisales SO, Restrepo MPV, Cabrera FAV. Selección de introducciones de Cucurbita por contenido de aceite en semillas. Acta Agronómica 2014; 63, 175–180. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/acag.v63n2.40026>
- (6) Patel S, Rauf A. “Semillas comestibles de la familia de las cucurbitáceas como posibles alimentos funcionales: promesas inmensas, pocas preocupaciones”. Biomedicina y Farmacoterapia. 2017; 91, 330–337. Disponible en: doi:10.1016/j.biopha.2017.04.090
- (7) Belitz H, Grosch W, Schieberle P. Química de los alimentos. (2009). Tercera edición. Zaragoza, España.
- (8) Grasso F. Diseño del proceso: Pretratamiento enzimático para extracción de aceites vegetales en un extractor de columna. 2013. Tesis de Doctor en Ingeniería. La Plata, Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química.
- (9) Rosenthal A, Pyle DL, Niranjana K. Aqueous and enzymatic processes for edible oil extraction. Enzyme and Microbial Technology. 1996; 19: 402–420. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(96\)80004-F](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(96)80004-F)
- (10) Choquenaria R, Rivas S. Extracción del aceite de las semillas de Cucurbita maxima Duch var. Macre y var. Zambo, determinación de los ácidos grasos insaturados libres (ácido oleico, ácido linoleico y α -linolénico) y de su efecto antimicrobiano contra Escherichia coli y Shigella flexneri. 2013. Tesis de Ingeniero Biotecnólogo. Arequipa – Perú, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas. Universidad Católica de Santa María.
- (11) FAO-FINUT. Grasas y ácidos grasos en nutrición humana: consulta de expertos: 10-14 de noviembre de 2008 Granada, España. 2012. [en línea]. [Consultado 2 de julio 2022]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i1953s/i1953s.pdf>
- (12) Applequist W, Avula B, Schaneberg B, Wang Y, Khan I. “Comparative fatty acid content of seeds of four Cucurbita species grown in a common (shared) garden”. Journal of Food Composition and Analysis. 2006; 19, 2006, pp. 606–611. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.001>
- (13) Stevenson DG, Eller FJ, Wang L, Jane J L, Wang T, Inglett GE. Oil and Tocopherol Content and Composition of Pumpkin Seed Oil in 12 Cultivars. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2007; 55: 4005–4013. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/jf0706979>
- (14) Choquenaria R, Rivas S. Extracción del aceite de las semillas de Cucurbita maxima Duch var. Macre y var. Zambo, determinación de los ácidos grasos insaturados libres (ácido oleico, ácido linoleico y α -linolénico) y de su efecto antimicrobiano contra Escherichia coli y Shigella flexneri. 2013. Tesis de Ingeniero Biotecnólogo. Arequipa – Perú, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, Universidad Católica de Santa María.
- (15) Kipping DR, Laurel HO, Orozco AA, García HMD, López LA. “Características físicas y químicas de la semilla de calabaza para mecanización y procesamiento”. Nova Scientia,

Revista de Investigación de la Universidad de la Salle Bajío. 2018; N° 21, Vol. 10 (2), pp.: 61 - 77. Disponible en: <https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1467>

(16) Paulo F, Santos L. Design of experiments for microencapsulation applications: A review. *Materials Science and Engineering*. 2017; C 77: 1327–1340. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.219>

(17) Ye Q, Georges N, Selomulya C. Microencapsulation of active ingredients in functional foods: From research stage to commercial food products. *Trends in Food Science & Technology*. 2018 78: 167–179. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.025>.

(18) Parzanese M. “Microencapsulación” en *Tecnologías para la Industria Alimentaria*, Fincha N° 20. 2018. [en línea]. [Consultado 27 de noviembre 2022]. Disponible en: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_20_Microencapsulacion.pdf

(19) Huertas RAP. “Microencapsulación de alimentos”. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 2011. Volumen 63, numero 2. [en línea]. [Consultado 7 de diciembre 2022]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/25055/37055>

(20) Shahidi F, Han X. Encapsulation of food ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1993; 33: 501–547. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408399309527645>

(21) Cuco RP, Cardozo Filho L, da Silva C. Simultaneous extraction of seed oil and active compounds from peel of pumpkin (*Cucurbita maxima*) using pressurized carbon dioxide as solvent. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2018; 143, 8–15. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.08.002>

(22) Cedeño PJP. Evaluación del proceso de obtención de aceite de *Cucurbita ficifolia* (Sambo) para uso comestible utilizando dos métodos de extracción. 2015. Tesis de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Quevedo, Ecuador.

(23) Betancurt H. Extracción y caracterización de aceite de semillas de zapallo de la variedad Macre (*Cucurbita maxima*). 2016. Tesis de Licenciatura. Perú, Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos.

(24) López O, Márquez T, Mayo O, Toledo C, Pérez E. “Características del Aceite de Semillas de *Cucurbita pepo* L. Microencapsulado mediante Secado por Aspersión con Maltodextrina y Goma Arábica”. *Latin American Journal of Pharmacy*. 2009; 28 (4): 628-632.

(25) Pastuña Pullutasig A, López Hernández O, Debut A, Vaca A, Rodríguez Leyes E, Vicente R et al. Microencapsulación de aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersión. *Rev. Colomb. Cienc. Quim. Farm.* 2016; 45: 422–437. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62029>

(26) Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). Caracterización y gestión de la pérdida y el desperdicio de alimentos en América del Norte. 2017. Informe sintético, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 52 pp.

(27) Fellows PJ. *Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y prácticas*. 2° edición. 2000. Editorial ACRIBIA S. A. Zaragoza, España.

(28) Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) *Official Methods of Analysis*. 18 th Edition. 2005. Washington D.C.; USA.

(29) González DM, Yáñez YM. Diseño y Construcción de un Extractor Sólido-Líquido para la Obtención de Aceite de Semillas de Sambo y Zapallo. 2012. Tesis de Ingeniería Química. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. [en línea]. Disponible en: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/1978/1/96T00157.pdf>

(30) Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) *Official Methods of Analysis*. 18 th Edition. 1996. Association of Official Analytical Chemists Washington D.C.; USA

- (31) Pino J, Sosa Moguel O, Sauri Duch E, Cuevas-Glory L. “Microencapsulation of Winter squash (*Cucurbita moschata* Duchesne) seed oil by spray drying”. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2019; 43:e14136. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jfpp.14136>
- (32) Carneiro HCF, Tonon RV, Grosso CRF, Hubiner M. D. “Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials”. *Journal of Food Engineering*. 2013; 115(4), pp. 443-451. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033>
- (33) Klinkerson U, Sophanodora P, Chinachoti P, Decker EA, McClements D. “Characterization of spray-dried tuna oil emulsified in two-layered interfacial membranes prepared using electrostatic layer-by-layer deposition”. *Food Research International*. 2006; 39(4), 449–457.
- (34) Kaushik P, Dowling K, Barrow CJ, Adhikari B. Microencapsulation of omega-3 fatty acids: A review of microencapsulation and characterization methods. *Journal of Functional Foods, Omega-3 Lipids*. 2015; 19: 868–881. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.06.029>
- (35) Jimenez FV. “Prueba del Ácido Tiobarbitúrico (TBA) – Rancidez oxidativa en lípidos”. 2011. [en línea]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/rancidezoxidativaenlipidos1/home/prueba-de-del-acido-tiobarbiturico-tba>
- (36) Londoño P, Valera MV, Silva V, Pitre A. “Extracción del aceite de la semilla de patilla (*Citrullus vulgaris*) por lixiviación”. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 2014; 5(4).
- (37) Gohari AA, Farhoosh R, Haddad Khodaparast MH. Chemical composition and physicochemical properties of pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* Subsp. *Pepo* Var. *Styriaca*) grown in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2011; 13: 1053-1063.
- (38) Arija I, Viveros A, Brenes A, Canales R. “Estudio del valor nutritivo de la semilla de girasol entera descascarillada en raciones de pollos broiler y su efecto sobre la concentración de ácidos grasos en la grasa abdominal”. *Arch. Zootec, Madrid, España*. 1999; 48: 249-259.1999. [en línea]. Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/100744/1/Estudio_del_valor_nutritivo.pdf
- (39) Achu MB, Fokou E, Tchiegang C, Fotso M, Tchouanguep MF. Nutritive Value of Some Cucurbitaceae Oilseeds from Different Regions in Cameroon. *African J. Biotech*. 2005; 4: 1329–1334.
- (40) Kim MY, Kim EJ, Kim YN, Choi C, Lee BH. “Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (*Cucurbitaceae*) species and parts”. *Nutrition Research and Practice*. 2012; 29 de Feb 2012, 6(1), pp.21-27.
- (41) Barbosa MIMJ, Borsarelli CD, Mercadante AZ. “Light stability of spray-dried bixin encapsulated with different edible polysaccharide preparations”. *Food Research International*. 2005; 38 (2005) 989–994
- (42) Gu B, Linehan B, Tseng YC. “Optimization of the Büchi B-90 spray drying process using central composite design for preparation of solid dispersions”. *International Journal of Pharmaceutics*. 2015; 491(1-2), 208–217. Disponible en: [doi:10.1016/j.ijpharm.2015.06.006](https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.06.006)
- (43) Aktaş N, Gerçekaslan KE, Uzlaşır T. The effect of some pre-roasting treatments on quality characteristics of pumpkin seed oil. *OCL* 2018; 25, A301. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/ocl/2018025>

Fecha de recepción: 08/04/2023

Fecha de revisión: 10/04/2023

Fecha de aceptación: 23/04/2023

Lista de símbolos y abreviaturas

%EE: Porcentaje de eficiencia de encapsulación

AOAC: Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales

ATB: Ácido tiobarbitúrico

EA1: Extracción de aceite con prensa de mano

EA2: Extracción de aceite con prensa hidráulica + pastillero

EA3: Extracción de aceite con prensa hidráulica + placas

EA4: Extracción de aceite con prensa de elaboración casera

EA5: Extracción de aceite por maceración con solvente orgánico

FAMES: Ésteres metílicos de ácidos grasos

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

IP: Índice de peróxido

MDA: Malonaldehído

NaOH: Hidróxido de sodio

NaCl: Cloruro de sodio

SCC: Semillas con cáscara

SEM: Microscopio electrónico de barrido

SSC: Semillas sin cáscara

PDA: Pérdida y desperdicio de alimentos