

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y OBTENCIÓN DE EMULSIONES A PARTIR DEL ACEITE DE SEMILLA DE SACHA INCHI

Aureliano Rodríguez Cortina¹, -María Hernández Carrión^{1*}

1. Grupo de Diseño de Productos y Procesos (GDPP). Departamento de Ingeniería Química y de Alimentos, Universidad de Los Andes.

* m.hernandez1@uniandes.edu.co

RESUMEN

En este estudio se llevó a cabo la caracterización físico-química del aceite de semilla de Sacha Inchi y se estudiaron las propiedades de emulsiones elaboradas a partir de este aceite. En la caracterización del aceite se estudiaron propiedades tales como la densidad aparente, contenido en humedad, índice de refracción, índice de acidez, índice de saponificación, índice de yodo, índice de peróxidos y productos de oxidación secundaria, siguiendo los protocolos consignados en procedimientos estandarizados. Asimismo, se elaboraron emulsiones de aceite de Sacha Inchi haciendo uso de homogeneización de alta velocidad. Se planteó un diseño experimental donde se estudió el efecto de la concentración de aceite de semilla de Sacha Inchi (5% y 10%, p/p), de la relación maltodextrina: caseinato sódico (80:20, 85:15 y 90:10, p/p) y la velocidad de homogeneización (10.000 y 18.000 rpm) sobre las propiedades físico-químicas de las emulsiones. Los resultados obtenidos en la caracterización del aceite de semilla de Sacha Inchi están dentro del rango de aceptación establecidos por normas internacionales, así como también son comparables a estudios previos de caracterización de este aceite. Asimismo, con los resultados de la caracterización de las emulsiones se pudo establecer un criterio para escoger la formulación que favorece una mayor estabilidad de la emulsión. Se demostró que la mejor formulación es aquella donde la concentración de aceite es del 5%p/p, así mismo la relación de material de pared que se recomienda es de 80:20 y por último una velocidad de homogenización de 18.000 rpm.

1. INTRODUCCION

Actualmente Colombia es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo, con un gran potencial para la obtención de productos con alto valor agregado. El aprovechamiento de dicha biodiversidad requiere de un esfuerzo multidisciplinar que logre ir avanzando en la definición de usos potenciales y en la sostenibilidad de los recursos que ofrece el suelo de este país. En particular tiene pendiente el desarrollo de un conjunto de conocimientos básicos sobre cultivos nativos y tradicionales, lo cual no permite promover un uso óptimo y eficiente de los mismos; mucho menos pretender ubicarlos en grandes mercados internacionales que son exigentes en niveles de producción y calidad. En este sentido, el Sacha Inchi es un producto con expectativas de demanda en mercados nacionales e internacionales por las cualidades nutritivas y bioactivas de su aceite.

Unas de las demandas definidas en el Portal Siembra del Ministerio de Agricultura de Colombia para la cadena de Sacha Inchi consiste en estandarizar, validar, optimizar y aplicar procesos de transformación incluyendo el desarrollo de otros productos con valor agregado. Es por este motivo que se investigó sobre aplicaciones que permitan la incorporación de este aceite en diferentes matrices alimentarias, manteniendo sus propiedades bioactivas durante el procesamiento para el desarrollo de nuevos alimentos funcionales. Por otro lado, tanto en Perú como en Colombia se ha promovido el cultivo de Sacha Inchi en programas de sustitución de cultivos ilícitos, motivo por el cual se considera como una buena opción que permitiría mejorar la situación social y económica de la población afectada por este flagelo [1]. Así, se lograrían buscar alternativas que permitan encontrar ingredientes o insumos para la industria alimentaria de fácil acceso y económicos.

El Sacha Inchi (*Plukenetia volúbilis* L.) conocido también como "Inca Inchi" o "maní del Inca" es una especie nativa de la Amazonia Peruana con importantes compuestos beneficiosos para la salud sensibles a la temperatura [2]. Recientemente se ha considerado como una especie prometedora debido a que se adapta fácilmente al terreno de cultivo y su semilla contiene un aceite rico en ácidos grasos omega 3, 6 y 9 y vitaminas A y E [2]. Estos compuestos son considerados de gran importancia para la prevención de enfermedades cardiovasculares, hipertensión arterial, cáncer, diabetes, enfermedades inflamatorias de la

piel, entre otros [3]. Los ácidos grasos insaturados presentes en este aceite son ácidos carboxílicos de cadena larga, con uno o varios dobles enlaces entre los átomos de carbono y son fundamentales para el correcto funcionamiento de nuestro cuerpo [4]. Muchos ácidos grasos, particularmente los ácidos grasos poliinsaturados, son difíciles de sintetizar y se pueden obtener por la extracción de algunas grasas naturales o aceites; como el aceite de linaza; aceites de animales marinos: salmón, atún y sardina [5] [6]. Es por esta razón que existe un gran potencial para el uso del aceite de Sacha Inchi especialmente en la industria alimentaria y farmacéutica.

Esta composición especial de ácidos grasos hace que este aceite sea muy susceptible a la oxidación, por factores como el aire, luz, humedad, calor o por su propia naturaleza química [7]. Con el objetivo de proteger los compuestos funcionales presentes en el aceite de semilla de Sacha Inchi de las condiciones ambientales y/o posterior procesamiento y manipulación a nivel industrial, se planteó su encapsulación. Para lograr esta encapsulación se propuso en primer lugar obtener una emulsión la cual consiste en una fase dispersa de naturaleza lipídica en una fase continua de naturaleza acuosa [8]. Entre las numerosas ventajas que presenta la encapsulación en la industria alimentaria se puede destacar: la protección de ingredientes o componentes alimentarios sensibles al ambiente y a las condiciones de procesamiento, extender su vida útil y la liberación controlada de los ingredientes encapsulados. Esta liberación controlada permitiría un aumento de la biodisponibilidad de los ingredientes alimentarios y una absorción óptima de los nutrientes por parte del organismo [9].

Los materiales más comunes para encapsular los compuestos bioactivos para aplicaciones alimentarias son los polímeros de carbohidratos (almidón y derivados de almidón, celulosa y derivados de celulosa, extractos de plantas de polisacáridos, extractos marinos de polisacáridos y polisacáridos microbianos y animales) y proteínas (proteínas de la leche y gelatina) [10] [11]. Los materiales de pared efectivos se caracterizan por sus buenas propiedades de estabilización de emulsión, baja viscosidad a altas concentraciones y redispersión efectiva para liberar el material del núcleo en la rehidratación [12]. Diversos estudios han encontrado que el uso de maltodextrina (MD) conduce a un aumento de la capacidad emulsionante del material de pared y además como posee un bajo grado de polimerización contribuye a generar una aglomeración de partículas que reducen la permeabilidad del oxígeno en la cápsula, lo que permite una gran retención de aceite [13] [14]. Por otro lado, el caseinato sódico es una proteína resistente a la desnaturalización cuando se somete a altas temperaturas [13]. Adicionalmente, por sus propiedades anfífilas como material de pared contribuye a disminuir la aglomeración. El caseinato presenta un punto isoeléctrico (pH 5.98) que favorece la liberación controlada del principio activo contenido, dado que incrementa la estabilidad de la cápsula a pH ácidos como el que se encuentra en el fluido gástrico [15], [16]. De ahí que, las cápsulas logren liberar altas cantidades de aceite en el intestino delgado.

Aunque diversos autores han estudiado el efecto de diferentes ingredientes presentes en la formulación de emulsiones sobre la estabilidad de éstas, así como el efecto de las condiciones de operación [17, 18] no se han reportado estudios sobre encapsulación de aceite de semilla de Sacha Inchi en emulsiones. Todo lo anterior se convierte en un reto para estudiar al Sacha inchi, no sólo como material oleaginoso sino también por las funcionalidades biológicas que podrían derivar de su aceite. Este desafío ha sido aceptado en algunos países latinoamericanos, especialmente Perú, sin embargo, en Colombia es muy poco lo que hasta ahora se ha hecho. Es por esto, que este trabajo tiene como objetivo estudiar los índices de calidad del aceite de semilla de Sacha Inchi para establecer su potencial agroindustrial y estudiar las propiedades físico-químicas de emulsiones de aceite de semilla de sachá inchi elaboradas haciendo uso de homogeneización a alta velocidad.

2. METODOLOGIA

2.1 Muestra

EL aceite de semilla de Sacha Inchi (ASI) utilizado en este estudio fue de la marca Sachacol. La maltodextrina y caseinato sódico que se emplearon en diferentes proporciones como materiales de pared para las emulsiones fueron de la marca Química Center S.A.S y los surfactantes Tween 20 y Span 80 de la marca Croda©. Las sustancias químicas utilizadas para la caracterización del aceite como el reactivo de Wijs, eter dietílico, cloroformo, ácido acético glacial, ácido clorhídrico, ciclohexano fueron de la marca comercial Panreac AppliChem, el hidróxido de sodio de la marca Merck, el hidróxido de potasio de la marca

Honeywell, el almidón soluble de la marca Fisher Scientific Company, la fenolftaleína de la marca J.T. Baker, el yoduro de potasio de la marca Sigma-Aldrich y el tiosulfato de sodio de la marca Analytic.

2.2 Caracterización del aceite de semilla Sacha Inchi

2.2.1 Características físico-químicas

La densidad aparente se determinó haciendo uso de uso del densímetro Easy 40. El contenido de humedad se determinó mediante el método ISO:662. Esta medición se realizó para 3 muestras de 10 g de aceite de semilla de Sacha Inchi. Se utilizó un horno de convección forzada (Binder FD 115, Alemania) y se comprobó el resultado obtenido con la termobalanza (Precisa Master series 330 M, Suiza). El índice de refracción (IR) a 20°C se determinó haciendo uso de un refractómetro digital (METLER TOLEDO). Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

2.2.2. Índices de calidad

El índice de acidez (mg KOH/g aceite) y acidez se determinó mediante el método UNE-EN ISO 660. El índice de saponificación (mg KOH/g aceite) se determinó mediante el método UNE-EN ISO 3657. El índice de yodo (g I₂/100g aceite) se determinó mediante el método UNE-EN ISO 3961. El índice de peróxidos (meq O₂ activo/kg aceite) se determinó mediante el método UNE-EN ISO 3960. Los hidroperóxidos y los productos de oxidación secundaria (k232, k270) se detectaron por métodos espectrofotométricos (GENESYS 10S UV-Vis) siguiendo el método UNE 55047. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

2.3 Elaboración de las emulsiones de aceite de semilla de Sacha Inchi

Para la elaboración de las emulsiones se emplearon como ingredientes aceite de semilla de Sacha Inchi, maltodextrina y caseinato sódico como materiales de pared, Tween 20 y Span 80 como surfactantes y agua destilada. Para la elaboración de las emulsiones se hizo uso de homogeneización de alta velocidad (Dispermat D-51580, VMA-GETZMANN GMBH). Se estudió el efecto de la concentración de aceite de semilla de Sacha Inchi (5% y 10%, p/p), de la relación maltodextrina: caseinato sódico (90:10, 80:20 y 85:15 p/p) y la velocidad (10.000 y 18.000 rpm) sobre las propiedades físico-químicas de las emulsiones.

Las emulsiones fueron del tipo O/W (de sus siglas en inglés aceite/agua) donde se ajustó una relación de material de pared y de aceite de Sacha Inchi 2:1. Las cantidades de Tween y Span 80 se fijaron en 1% y 0,5%, p/p, respectivamente de acuerdo a la metodología descrita por Amaya et al [19] y se ajustó con agua destilada hasta completar el 100 %, p/p de la emulsión. En la tabla 2 se presenta el diseño experimental utilizado, así como las concentraciones de aceite y material de pared empleadas para elaborar las emulsiones. Para cada formulación se prepararon 500 g de emulsión.

El proceso de elaboración de las emulsiones se llevó a cabo en dos etapas, una prehomogenización y una homogenización. En la primera etapa, se disolvieron por aparte los materiales de pared seleccionados en agua destilada a agitación constante en una plancha de calentamiento a 25 °C por 10 minutos. En la segunda etapa se agregó el tensoactivo Tween 20 a la mezcla de agua y material de pared y con ayuda del Dispermat (D-51580, VMA-GETZMANN GMBH) se homogeneizó a 5000 rpm por 2 minutos. Luego se añadió el aceite de semilla de Sacha Inchi a la solución, el cual se mezcló previamente con el tensoactivo Span 80. La homogenización se ajustó para unas emulsiones a una velocidad de 10.000 y para otras a 18.000 rpm durante 10 minutos.

2.4 Caracterización de las emulsiones de aceite de semilla de Sacha Inchi

2.4.1. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula de las emulsiones se determinó mediante el uso de un analizador de tamaño de partículas Mastersizer 3000 (Malvern) compuesto de un banco óptico y una unidad de dispersión por vía húmeda (Hydro EV) que permitió realizar el análisis mediante la dilución de la muestra. Esta determinación se hizo por duplicado.

2.4.2. pH y conductividad

Se determinó el pH y la conductividad de las emulsiones mediante el uso de un multiparámetro SevenMulti (Mettler Toledo). Esta determinación se hizo por duplicado.

2.4.3. Textura

Se estudió la textura de las emulsiones en términos de firmeza, consistencia y cohesividad mediante un texturometro TA HD plus C (Stable Micro Systems) empleando la prueba Back Extrusion utilizando una geometría RIG 40 mm DISC, una celda de carga de 5kgf, una velocidad de test de 2,0 mm/s y una distancia de penetración de 1.5 cm. Las mediciones se hicieron por duplicado.

2.4.4. Reología

El comportamiento al flujo y propiedades viscoelásticas de las emulsiones se estudiaron mediante el uso de un reómetro rotacional ARG2 (TA Instruments) utilizando una geometría de cilindro concéntrico cónico (997616) a temperatura ambiente (20°C) y un gap de 1mm. El comportamiento al flujo se estudió empleando una velocidad de cizalla entre 1 y 100 s^{-1} . Se reportaron los valores de viscosidad a una velocidad de cizalla de 50 s^{-1} . Las curvas obtenidas se ajustaron a la ley de la potencia de Otswald de Waele utilizando la ecuación (1) para la obtención del índice de flujo (n) e índice de consistencia (k).

$$\mu = k \gamma^{n-1} \quad (1)$$

Donde:

μ : es la viscosidad

γ : es la velocidad de cizalla

k : es el índice de consistencia

n : el índice de flujo.

Asimismo, se realizó una prueba oscilatoria para la determinación del módulo de almacenamiento o componente elástico (G') y el módulo de pérdidas o componente viscoso (G'') en función del porcentaje de deformación y frecuencia angular. Para ello, se realizó un barrido de deformación (entre 1 y 100 % strain) con el objetivo de identificar la región viscoelástica lineal (RVL) para posteriormente llevar a cabo un barrido de frecuencia en la RVL determinada a partir del barrido de deformación. Esta determinación se hizo por duplicado.

2.4.5. Tensión superficial y ángulo de contacto

La tensión superficial (TS) y el ángulo de contacto (AC) de las emulsiones se determinaron mediante un tensiómetro óptico (Attension) con el método de pendant drop y sessile drop, respectivamente. Esta determinación se hizo por duplicado.

2.5 Análisis estadístico

Se realizó estadística descriptiva calculando la media y la desviación estándar para cada variable de respuesta en estudio. Los datos para la caracterización físico-química de las emulsiones fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el programa estadístico Minitab® (versión 18.1) con un nivel de significancia del 5% haciendo uso del test de comparación de medias de Tukey.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Caracterización del aceite de semilla de Sacha Inchi

La calidad de los aceites está determinada por diferentes parámetros físicos y químicos. Estos parámetros se ven influenciados principalmente por el origen del aceite, las condiciones geográficas, climáticas y las condiciones de procesamiento y almacenamiento [20].

En la tabla 1 se presentan los parámetros fisicoquímicos del ASI. Los resultados obtenidos se compararon con valores reportados en la literatura [21, 22] y con la ficha técnica proporcionada por el proveedor del aceite utilizado en la presente investigación, encontrando que los resultados fueron similares a los reportados.

Tabla 1. Características fisicoquímicas del aceite de semilla de Sacha Inchi

Característica	Aceite de semilla de Sacha Inchi
Densidad	0,926 (<0,01) g/cm^3
Contenido de humedad	0,198 (0,014) %
Índice de refracción	1,478 (<0,01) (nD)
Índice de acidez	1,393 (0,05) mg KOH/g aceite
Acidez (% ácido oleico)	0,696 (0,029) %
Índice de Saponificación	191,456 (0,063) mg KOH/g de aceite
Índice de yodo	189,081 (0,04) $g I_2/100 g$ de aceite
Índice de peróxidos	2,630 (0,321) meq O_2/kg de aceite
Hidroperóxidos k232	2,476 (0,068)
Hidroperóxidos k270	0,223 (0,007)

Los valores en paréntesis corresponden a las desviaciones estándar

La densidad aparente del aceite encontrada a 25 °C fue de 0,926 (<0,01) g/cm^3 que es levemente mayor a las densidades reportadas en la norma para aceites vegetales especificados CODEX STAN 210-1999 para los distintos aceites vegetales de amplia aceptación comercial (aceite de oliva, girasol, palma, coco, etc.). Esto se debe a que la densidad aumenta a medida que aumenta el grado de insaturación, no obstante, el valor obtenido se comparó con el declarado en la ficha técnica por el proveedor de 0,9278 g/cm^3 y no se encontraron diferencias significativas.

El valor del contenido de humedad encontrado 0,198 (0,014) % en el ASI es bajo lo que indica que su contenido en agua también lo es. Este contenido bajo en humedad lo confirma el resultado obtenido en la termobalanza de 0,18%. A pesar de que el valor obtenido no está dentro del rango declarado por el proveedor de 0,04 % – 0,14 %, el contenido de humedad no supera la cantidad máxima de 0,2% establecida en el CODEX STAN 19-1981.

El índice de refracción (nD) determinado a 20 °C fue de 1,478 (< 0,01) que es similar a los reportados por normas internacionales como la norma técnica peruana (NTP) 151.400 (2009) que establece un IR a 20 °C entre 1,475 – 1,481. Este dato también se ajusta a un estudio del perfil de los ácidos grasos del ASI realizado por Castaño et al. [12] quienes determinaron un IR para ASI de 1,479 (<0,01) y al valor declarado por el proveedor en la ficha técnica de 1,481. El IR en aceites y grasas se va incrementado conforme aumenta el grado de insaturación y el porcentaje de ácidos grasos insaturados [23]. Por lo tanto el ASI tiene un IR alto ya que es altamente insaturado, pues es rico en ácidos grasos como el Linoleico (w-6) y el Linolénico (w-6).

La acidez o contenido de ácidos grasos libres determinado en el ASI fue de 0,696 (0,029) expresada como % de ácido oleico. Este parámetro permite identificar el contenido de ácidos grasos libres (AGL) presentes en una muestra. Es importante mencionar que el índice de acidez puede variar de forma significativa dependiendo del tratamiento dado a las semillas y la temperatura a la que son sometidas durante el proceso de extracción. Los valores obtenidos en el laboratorio se encuentran dentro del rango de aceptación

establecido por normas internacionales como la NTP 151.400 (2009), en donde valores menores a 1 clasifican a los aceites como extra vírgenes, valores característicos de los aceites prensados en frío como el aceite empleado en este estudio. Además, es importante resaltar que cuando un aceite posee un alto índice de acidez apunta al uso de materia prima de baja calidad y mal manejo o almacenamiento, por lo que no se recomienda su consumo.

191,456 (0,06) mg KOH/g de aceite fue el valor determinado para el índice de saponificación del ASI. Este índice permite obtener una estimación del contenido de triglicéridos presentes en una muestra de aceite. Este valor corresponde a la cantidad (mg) de KOH requerida para saponificar 1 gramo de aceite. Este parámetro también se utiliza como control de calidad en los procesos de hidrogenación [24]. El valor obtenido en el laboratorio coincide con los declarados en la literatura [21] [22] que varían en el rango de 191- 199 mg KOH/g.

Con respecto al índice de yodo se encontraron valores de 189,081 (0,04) g I_2 /100 g de aceite de muestra que coinciden con los reportados en la literatura, y los declarados por el proveedor de 189,42 g I_2 /100g en la ficha técnica. Además, este valor está dentro de los parámetros establecidos por la norma NTP 151.400 de 183 – 199 g I_2 /100 g de aceite. Este parámetro es una propiedad química relacionada con el grado de insaturación, con el índice de refracción y con la densidad: a mayor índice de yodo se tendrá mayor índice de refracción y mayor densidad [25]. Al comparar este valor con el índice de yodo de otros aceites vegetales de aceptación comercial se observa que el ASI tiene niveles de insaturación más altos, lo que es un indicativo de que su estabilidad oxidativa es menor.

El índice de peróxidos encontrado para el ASI fue de 2,630 (0,321) meq O_2 / kg de aceite que es comparable a los obtenidos por Castaño et al [21] y Maurer et al [26]. El índice de peróxidos es una medida del estado de oxidación de un aceite, siendo el límite máximo de hasta 15 miliequivalentes de oxígeno/kg el establecido por el CODEX STAN 19-1981 para aceites vírgenes y grasas y aceites prensados en frío. El índice de peróxidos es de gran utilidad en la caracterización de aceites vegetales y grasas ya que la presencia de peróxidos puede afectar negativamente las propiedades organolépticas del compuesto produciendo rancidez.

El k232, es una medida espectrofotométrica realizada a una longitud de onda de 232 nm, y junto con el índice de peróxidos se utiliza como medida para describir la oxidación primaria del aceite. A esa longitud de onda absorben los dienos conjugados los cuales se forman debido a un cambio en la configuración de los dobles enlaces que se producen durante la formación de radicales peroxidados e hidroperoxidados [27]. Valores bajos de los distintos parámetros espectrofotométricos corresponden a aceites de buena calidad [28]. Para los hidroperóxidos y los productos de oxidación secundaria k232 y k270, no hay normas internacionales que establezcan los parámetros de calidad para este aceite, sin embargo se utilizó como referencia los valores reportados en el reglamento (CE) No 1989/2003, donde los valores permitidos para el aceite de oliva virgen extra son $k232 \leq 2,50$ y $k270 \leq 0,22$ y virgen $k232 \leq 2,60$ y $k270 \leq 0,25$. Según estos parámetros establecidos, el aceite sometido a estudio fue clasificado como virgen extra, es decir, como aceite de alta calidad ya que los valores encontrados para el k232 fueron de 2,476 (0,068) y para k270 de 0,223 (0,007).

3.2 Caracterización de las emulsiones de aceite de semilla de Sacha Inchi

3.2.1. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula es definido como el diámetro de la gota de la fase interna, la cual, es de vital importancia para una emulsión ya que influye en la textura y estabilidad de esta, asociándose un tamaño de partícula uniforme y pequeño con una emulsión con buena estabilidad [29].

En la Tabla 2 se muestran los diferentes tamaños medios de partícula expresados en volumen D(4,3) de las diferentes emulsiones evaluadas. Se encontraron tamaños de partícula entre 0,76-1,34 μm . Los tamaños medios muestran que las emulsiones elaboradas con una concentración mayor de aceite (10%, p/p) presentaron un tamaño mayor de partícula que las que fueron elaboradas con una menor concentración de aceite (5%, p/p).

Con base en los resultados obtenidos en el ANOVA se concluye que todos los factores y sus interacciones tuvieron efecto significativo sobre el tamaño de partícula, donde el factor que mayor influencia tuvo fue la velocidad. Los valores de D(4,3) muestran que, al aumentar la velocidad del tratamiento de homogeneización, el tamaño de partícula disminuyó significativamente, obteniendo los menores tamaños de partícula para las emulsiones preparadas utilizando una velocidad de 18.000 rpm. Esto coincide con lo reportado por Ricaurte et al [30] donde el tamaño de las partículas de aceite se vio afectado por la velocidad de homogeneización del tratamiento. A mayor velocidad, se aplican fuerzas disruptivas muy intensas capaces de romper la fase oleosa de la fase acuosa, dando lugar a la formación de partículas de aceite muy finas con tamaños más homogéneos y más uniformes. Asimismo, se encontró que, a medida que aumentó la concentración de aceite, el tamaño de partícula se incrementó, lo que puede estar asociado a que, a mayor concentración de aceite, mayor viscosidad, lo que contribuye a que la velocidad del proceso se reduzca y, por lo tanto, la recoalescencia entre las partículas de aceite aumente. Por otro lado, al comparar los valores de las corridas donde el porcentaje en peso del caseinato sódico fue mayor también se encontró que el tamaño de la partícula fue más pequeño. Amaya et al [19] investigaron la encapsulación de aceite se semilla de chía variando diferentes proporciones de material de pared (maltodextrina y caseinato sódico), encontrando que aquellas formulaciones donde la cantidad de caseinato era mayor, se reducía el tamaño de partícula lo que indica que la proteína limita el tamaño de las partículas de aceite.

3.2.2. pH y conductividad

El pH de las emulsiones es necesario tenerlo en cuenta para impedir que las emulsiones lleguen al punto de mínima solubilidad. Este hecho ocasiona que se presente una precipitación de las proteínas, lo que impediría continuar con los procedimientos de secado a los que pueden ser sometidas las emulsiones. Para que una emulsión sea estable es necesario que el valor del pH de esta sea mayor al punto isoeléctrico de la proteína (caseinato sódico), esto es, 5,98 [31].

En la tabla 2 se presentan los valores de pH de las emulsiones. Se encontraron valores de pH que variaron en un rango de 6,43 a 6,64. Con base en estos resultados se pudo establecer con el análisis estadístico ANOVA que los factores con mayor influencia fueron los de la relación material de pared y la concentración de aceite. Las emulsiones con mayor concentración de caseinato sódico (15 y 20%) en la relación de material de pared y mayor concentración de aceite (10%, p/p) reportaron valores más altos de pH. En diferentes estudios se encontró que para pH cercanos o por debajo del punto isoeléctrico, se promueven cambios en las interacciones electrostáticas e hidrofóbicas de las proteínas, lo que puede conducir a la formación de aglomerados insolubles y, por lo tanto, a una desestabilización de las emulsiones [32]. Por otro lado, dado que el pH de las emulsiones fue mayor al punto isoeléctrico del caseinato sódico mencionado se puede decir que las emulsiones fueron estables.

En la tabla 2 se muestran los valores de conductividad para cada una de las emulsiones evaluadas. Los valores encontrados para conductividad variaron entre 668 y 877 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Esta propiedad representa la capacidad que tiene determinada materia para conducir corriente eléctrica y depende de los enlaces presentes en el material, la estructura atómica y la temperatura [30].

En los resultados obtenidos en el ANOVA todos los factores y sus interacciones tuvieron efecto sobre la conductividad, pero el factor que mayor influencia tuvo sobre la conductividad fue el de la concentración de aceite, lo que coincide con lo reportado en literatura, donde se establece que la conductividad de una emulsión aumenta cuando el contenido de agua de la emulsión es mayor al contenido de aceite [33]. En ese sentido, es lógico que se reporten valores más altos para aquellas emulsiones con menor concentración de aceite (5% p/p).

Tabla 2. Diseño experimental para preparación de emulsiones y propiedades físico-químicas evaluadas: Tamaño de partícula, pH, conductividad, firmeza, consistencia, cohesividad, viscosidad, tensión superficial (TS) y ángulo de contacto (AC).

Corrida	Concentración ASI (%p/p)	Maltodextrina caseinato sódico (%p/p)	Velocidad (rpm)	Tamaño de partícula μm	pH	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	Firmeza g	Consistencia g.sec	Cohesividad g	Viscosidad a una velocidad de cizalla de 50 s^{-1} Pa-s	TS (mN/m)	AC ($^{\circ}$)
1	5	85:15	18.000	0,84 ^{ef} (0,031)	6,61 ^b (0,002)	831 ^b (0,354)	10,86 ^g (0,014)	122,06 ^{gh} (0,933)	7,64 ^{fg} (0,014)	0,008 ^h (0,001)	37,71 ^c (0,084)	30,45 ⁱ (0,035)
2	10	85:15	18.000	0,86 ^e (0,016)	6,62 ^{ab} (0,005)	711 ^g (3,536)	11,30 ^d (0,021)	133,54 ^e (1,668)	9,24 ^{de} (0,035)	0,055 ^b (0,015)	38,05 ^{bc} (0,021)	42,02 ^c (0,049)
3	5	80:20	10.000	1,23 ^{bc} (0,028)	6,64 ^{ab} (0,005)	870 ^a (4,243)	12,00 ^{bc} (0,021)	141,71 ^d (0,063)	9,47 ^c (0,028)	0,008 ^e (0,010)	35,22 ^d (0,063)	36,07 ^f (0,184)
4	10	90:10	18.000	0,87 ^e (0,017)	6,53 ^c (0,013)	702 ^g (4,950)	11,06 ^{ef} (0,007)	130,10 ^{ef} (0,707)	9,03 ^{ef} (0,014)	0,037 ^c (0,036)	39,80 ^a (0,084)	43,72 ^b (0,012)
5	5	85:15	10.000	1,29 ^{ab} (0,012)	6,62 ^{ab} (0,002)	805 ^c (2,228)	10,99 ^{fg} (0,042)	122,75 ^{fg} (1,393)	7,35 ^g (0,070)	0,007 ^g (0,001)	38,05 ^{bc} (0,098)	32,26 ^h (0,757)
6	5	90:10	10.000	1,15 ^c (0,031)	6,63 ^{ab} (0,009)	786 ^d (0,000)	10,15 ^h (0,021)	120,76 ^{gh} (1,393)	7,26 ^h (0,035)	0,007 ^h (0,050)	39,99 ^a (0,056)	38,65 ^d (0,205)
7	5	90:10	18.000	1,04 ^d (0,001)	6,43 ^d (0,012)	794 ^{cd} (0,354)	10,03 ^h (0,042)	116,95 ^h (2,333)	7,06 ^h (0,021)	0,008 ^h (0,001)	39,74 ^a (0,233)	38,17 ^d (0,035)
8	5	80:20	18.000	0,76 ^f (0,003)	6,64 ^{ab} (0,004)	877 ^a (3,182)	11,84 ^c (0,042)	171,80 ^c (1,463)	9,59 ^{bc} (0,014)	0,009 ^h (0,031)	33,68 ^e (0,021)	35,21 ^g (0,042)
9	10	85:15	10.000	1,17 ^c (0,055)	6,43 ^d (0,011)	752 ^e (0,354)	12,03 ^b (0,099)	181,55 ^b (1,767)	9,76 ^b (0,014)	0,033 ^d (0,001)	38,42 ^b (0,035)	36,78 ^e (0,156)
10	10	90:10	10.000	1,34 ^a (0,007)	6,53 ^c (0,002)	668 ^h (4,596)	11,19 ^{de} (0,028)	141,00 ^d (1,979)	9,36 ^d (0,004)	0,032 ^d (0,007)	40,01 ^a (0,028)	38,68 ^d (0,191)
11	10	80:20	18.000	0,83 ^{ef} (0,004)	6,64 ^{ab} (0,011)	751 ^e (3,182)	11,94 ^{bc} (0,066)	174,89 ^{bc} (3,486)	9,66 ^{bc} (0,014)	0,057 ^{ab} (0,008)	33,80 ^e (0,127)	36,05 ^f (0,099)
12	10	80:20	10.000	0,87 ^e (0,004)	6,64 ^a (0,011)	734 ^f (6,364)	12,85 ^a (0,014)	218,00 ^a (1,697)	9,93 ^a (0,044)	0,060 ^a (0,001)	34,97 ^d (0,134)	44,70 ^a (0,177)

Para una misma columna, letras diferentes indican la presencia de diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de Tukey ($p < 0.05$). Los valores en paréntesis son las desviaciones estándar.

Por otro lado, el aumento observado en la conductividad también podría estar relacionado con el aumento en la proporción de caseinato sódico debido a la capacidad que tiene esta proteína de evitar la aglomeración, debido a las cargas diferenciales a lo largo de su estructura molecular provocadas por la cadena polipeptídica κ que contiene [34]. Asimismo, las propiedades anfifílicas que tienen las proteínas permiten la ionización de la capa superficial de las partículas generando un aumento de la repulsión de las partículas de aceite [35].

3.2.3. Textura de las emulsiones

Los valores para la firmeza, consistencia y cohesividad de las emulsiones (Tabla 2) variaron en un rango de 10,03 a 10,85 g, 116,95 a 218 g·sec y 7,06 a 9,93 g, respectivamente. Al evaluar estas tres variables en el ANOVA se encontró que todos los factores e interacciones fueron significativos. Sin embargo, el factor que mayor influencia tuvo fue el de la concentración de aceite, reportando los valores más altos de firmeza, consistencia y cohesividad para las emulsiones preparadas con 10% p/p de aceite. Estos resultados coinciden con lo reportado en literatura donde se establece que aquellas emulsiones con mayor proporción de fase dispersa en su composición (mayor agregación de partículas de aceite) presentan una mayor viscosidad y, por tanto, mayores valores de estas propiedades de textura [33].

3.2.4. Comportamiento al flujo

Las propiedades reológicas de los alimentos se fundamentan en las respuestas de flujo y deformación cuando estos se someten a tensiones normales y tangenciales. Los estudios sobre estas propiedades son útiles e importantes para las aplicaciones, procesamiento, control de calidad y evaluación sensorial de los alimentos [36]. Estas propiedades dependen en gran parte de las fases de la emulsión (continua y dispersa), pero principalmente de la fase dispersa. Esto no sólo cambia la viscosidad de la emulsión respecto a la viscosidad de las fases, sino también hace que el comportamiento de la emulsión difiera del caso más simple: el fluido newtoniano [37].

En la Figura 1 se muestra el comportamiento al flujo de las diferentes emulsiones evaluadas. A partir de esta figura se puede afirmar que las emulsiones se alejan del comportamiento newtoniano, presentando un comportamiento pseudoplástico, característico de aquellos fluidos que disminuyen su viscosidad al aumentar la velocidad de cizalla aplicada [36]. La viscosidad a una velocidad de cizalla de 50 s^{-1} , varió dentro del rango de valores entre 0,007 y 0,060 Pa·s. Se encontró que aquellas emulsiones que presentaron mayor viscosidad fueron aquellas elaboradas con una mayor concentración de aceite (10% p/p) y menor velocidad de homogeneización (10.000 rpm).

Al realizar el análisis estadístico ANOVA, todos los factores e interacciones resultaron significativos, pero el que mayor influencia tuvo fue el de la concentración de aceite, lo que reafirma que los valores más altos de viscosidad son aquellos de las emulsiones elaboradas con una concentración del 10% p/p. Esto coincide con lo reportado con McClements [33] que encontró que a mayor agregación de gotas de aceite existe un aumento en la viscosidad de la emulsión. Asimismo, a velocidades más bajas de homogeneización las fuerzas disruptivas para deformar las gotas de aceite son menores, lo que puede explicar también que los tamaños de partícula más grandes se encontraron en las emulsiones más viscosas [38]. Por otro lado, también se evidenció que el aumentar la cantidad de caseinato (15 y 20%) en la relación material de pared, aumentó la viscosidad. Esto puede deberse a que a mayores concentraciones de proteína la capacidad emulsificante también aumenta [39].

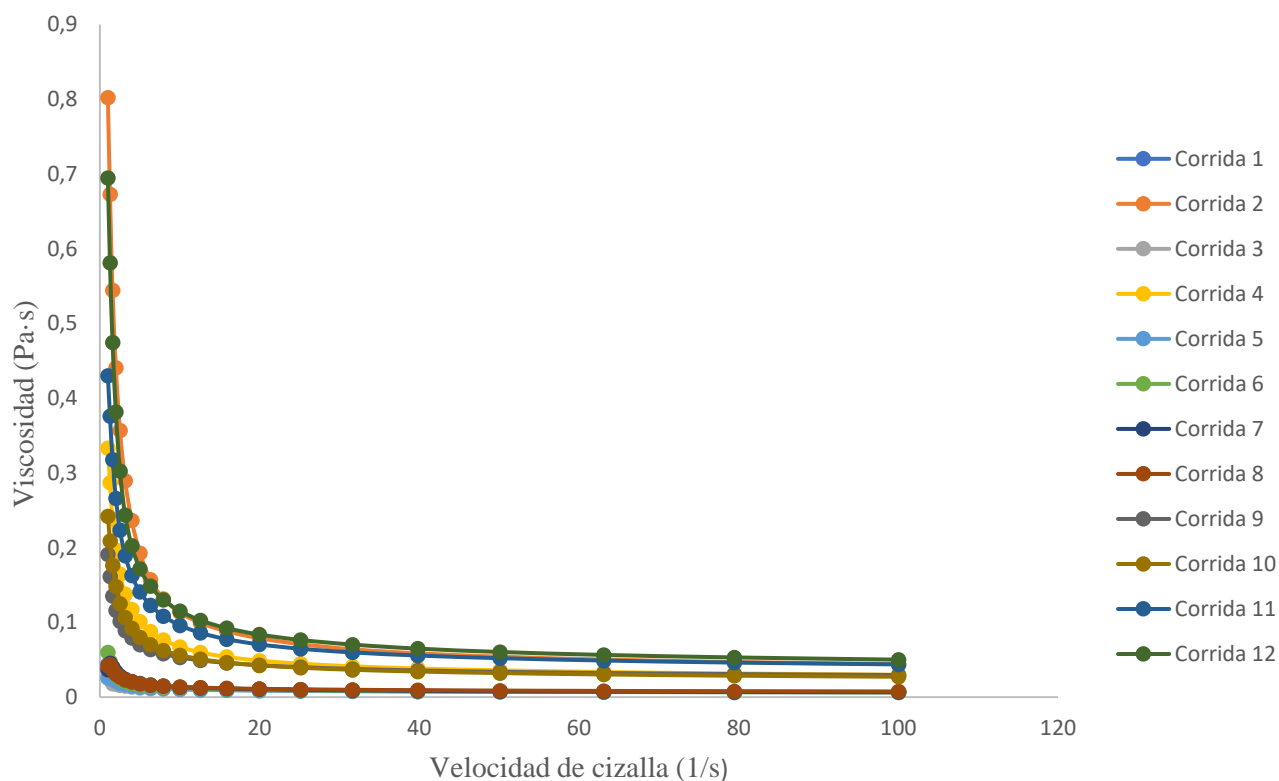


Figura 1. Comportamiento al flujo de las emulsiones de aceite de semilla de Sacha Inchi.

Los datos obtenidos de viscosidad para las diferentes emulsiones evaluadas se modelaron a la ley de la potencia de Ostwald de Waele utilizando la ecuación (1). En la tabla 3 se muestran los valores de n , k y R^2 hallados para cada emulsión analizada.

Tabla 3. Índice de flujo (n), índice de consistencia (k) y R^2 para las emulsiones de aceite de semilla de Sacha Inchi

Concentración ASI (%p/p)	Maltodextrina caseinato sódico (%p/p)	Velocidad (rpm)	n	k ($Pa \cdot s^n$)	R^2
5	85:15	18.000	0,651	0,221	0,971
10	85:15	18.000	0,414	0,757	0,971
5	80:20	10.000	0,758	0,180	0,980
10	90:10	18.000	0,472	0,563	0,968
5	85:15	10.000	0,673	0,201	0,966
5	90:10	10.000	0,574	0,248	0,969
5	90:10	18.000	0,548	0,249	0,940
5	80:20	18.000	0,612	0,242	0,962
10	85:15	10.000	0,610	0,437	0,958
10	90:10	10.000	0,527	0,490	0,965
10	80:20	18.000	0,498	0,636	0,970
10	80:20	10.000	0,434	0,749	0,956

Los valores de R^2 de los ajustes indican que la calidad del ajuste es adecuada al comportamiento de los datos obtenidos. Con los valores del índice de flujo ($n < 1$) se reafirma el comportamiento pseudoplástico de las emulsiones [40]. Por otro lado, el índice de consistencia permite conocer cuáles de las emulsiones fueron más viscosas, ya que entre más alto sea este índice, la viscosidad será mayor. En ese sentido, se

puede reafirmar que aquellas emulsiones con mayor concentración de aceite (10%, p/p), mayor cantidad de caseinato (15 y 20%) de la relación material de pared y menor velocidad de homogeneización (10.000 rpm) fueron las que mayor viscosidad presentaron. Este aumento en la viscosidad se podría atribuir a que existe una mayor fracción de partículas de aceite suspendidas, lo que facilita que haya una mayor interacción entre ellas y, a su vez, estas no se rompen fácilmente a velocidades bajas [41]

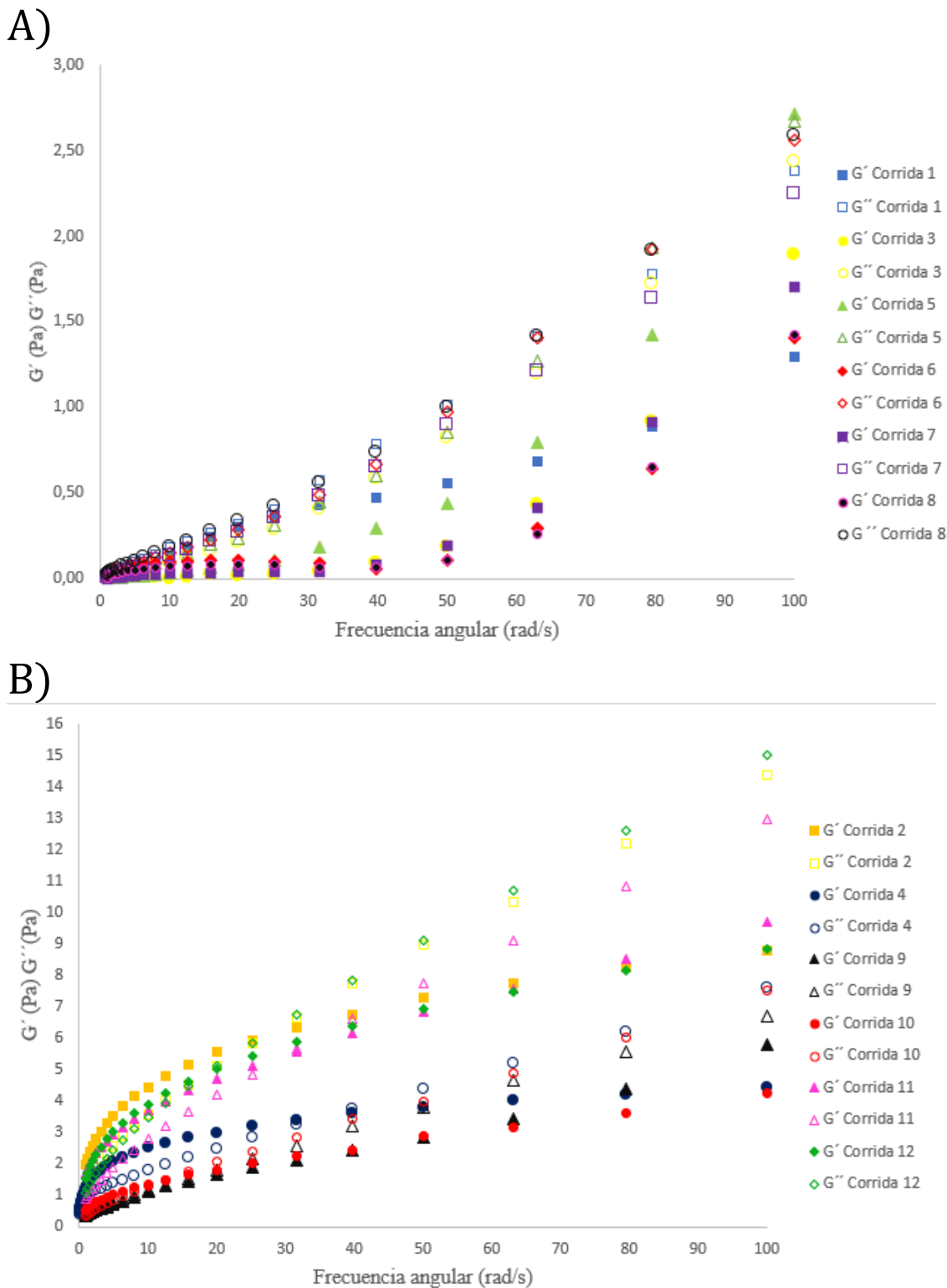


Figura 2. Propiedades viscoelásticas de las emulsiones de aceite de semilla de Sacha Inchi al 5% p/p (A) y al 10% p/p (B)

El módulo elástico G' y el módulo viscoso G'' se utilizaron para evaluar el comportamiento viscoelástico de las emulsiones. La Figura 2 presenta el módulo elástico y el módulo viscoso a 20 ° C en función de la frecuencia (barrido de frecuencia) para emulsiones con una concentración del 5%, p/p (Figura 2A) y 10%, p/p (Figura 2B) de aceite, respectivamente. En la figura 2A se puede apreciar que en las emulsiones elaboradas con una concentración de aceite del 5%, p/p siempre predominó el carácter viscoso sobre el elástico ($G' < G''$). Por otro lado, en las emulsiones elaboradas con una mayor concentración de aceite (10% p/p, Figura 2B) inicialmente predominó el carácter elástico ($G' > G''$) para frecuencias bajas (1 a 20 rad/s), luego pasó a una zona de transición de flujo donde finalmente predominó el carácter viscoso ($G' < G''$). Se ha demostrado que, en las emulsiones no floculadas o débilmente floculadas, el módulo de pérdidas (G'') presenta valores por encima de los de almacenamiento (G'). Este comportamiento viscoso puede deberse a que la separación entre gotas es mayor y, por lo tanto, las interacciones repulsivas entre éstas son relativamente débiles [42]

3.2.5. Tensión superficial y ángulo de contacto

La tensión superficial (TS) para las emulsiones (Tabla 2) varió en un rango de valores de 33,68 a 40,01 (mN/m). Al realizar el análisis estadístico ANOVA de las emulsiones se encontró que la concentración de aceite y la relación maltodextrina: caseinato sódico fueron los factores que mayor influencia tuvieron sobre la tensión superficial. Se observó que al aumentar la concentración de caseinato sódico (15 y 20%) de la relación de material de pared se disminuyó la tensión superficial en la interfase, lo que puede deberse a la acción que tiene la proteína de disminuir la energía libre, disminuyendo el área interfacial y a su vez generando más estabilidad termodinámica al sistema [43]. En estudios previos se encontró una reducción de la tensión sobre la interfase aire-agua al aumentar las concentraciones de proteína, identificando que al emplear la proteína al 0.1 g/L se alcanzaron valores de tensión de alrededor de 54.2 mN/m, mientras que cuando se incrementó la concentración a 3 g/L, los valores de tensión se redujeron alrededor de 42.2 mN/m [44]. Esto coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde las emulsiones elaboradas con una concentración de caseinato del 10% reportaron valores entre 37,71 a 40,01 mN/m; mientras que al trabajar con concentraciones de caseinato sódico del 15 y el 20% de la relación de material de pared se reportaron valores entre 33,68 a 37, 14 mN/m.

El ángulo de contacto (θ) es comúnmente usado para caracterizar superficies y determinar el grado de adherencia entre una superficie sólida y un líquido [45]. En este sentido, con ángulos de contacto menores a 90° las partículas se mojan preferentemente por el agua, estabilizan emulsiones O/W y ocasionan que el líquido se extienda (partículas hidrófilas). Por el contrario, con ángulos de contacto mayores a 90° la partícula es mojada preferentemente por el aceite y la emulsión predominante será W/O lo que ocasiona que se forme una gota compacta por la poca afinidad del líquido con el sólido (partículas hidrófobas) [46]. Los valores para el ángulo de contacto de las emulsiones evaluadas variaron en un rango de 30,45 a 44,70° lo que indica que las emulsiones que predominaron fueron del tipo O/W. Estos valores reportados en la tabla 2 para el ángulo de contacto permiten hacer una estimación de cuan estables pueden ser las emulsiones ya que se ha establecido que cuando las partículas son muy hidrófilas (bajos θ) o muy hidrófobas (altos θ), tienden a estar dispersas tanto en la fase acuosa como en la del aceite y, por lo tanto, dan lugar a emulsiones inestables [47]. Los ángulos obtenidos en este estudio (valores de 30,45 a 44,70°) no son lo suficientemente bajos ni lo suficientemente altos para afirmar que puedan dar lugar a emulsiones inestables. Teniendo en cuenta los resultados del ANOVA, todos los factores y sus interacciones tuvieron efecto sobre el ángulo de contacto, pero el factor con mayor influencia fue la concentración de aceite. Se encontró que al aumentar la concentración de aceite (10% p/p), el ángulo de contacto también aumentó. En estudios previos se ha reportado que a mayor concentración de aceite se forma una gota más compacta lo que ocasiona que el ángulo de contacto entre la gota y la superficie sólida sea mayor debido a la poca afinidad de las fases en la emulsión [47].

4. CONCLUSIONES

Las determinaciones analíticas realizadas en este trabajo mostraron al ASI como un aceite comparable a otros de gran aceptación comercial tanto por sus propiedades fisicoquímicas como funcionales. Los valores obtenidos en las pruebas estuvieron dentro del rango de aceptación establecido por normas internacionales, así como también fueron comparables a estudios previos de caracterización de este aceite. Por este motivo su consumo es recomendable ya que contribuye a la disminución de los niveles de colesterol por la gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados. A pesar de que las investigaciones del ASI en países latinoamericanos como Perú han avanzado, en Colombia es muy poco lo que se ha hecho. Por lo tanto, es necesario seguir desarrollando en el país trabajos de investigación que conlleven al aprovechamiento de este aceite para la obtención de productos de alto valor agregado, dado el interés del consumidor de mantener una buena salud a través de la alimentación.

Al analizar las propiedades de las emulsiones elaboradas por homogenización a alta velocidad, se pudo establecer un criterio para recomendar una formulación que favorezca su estabilidad. Los resultados obtenidos demostraron que la mejor formulación fue aquella en donde la concentración de aceite fue menor (5% p/p), así mismo la relación de material de pared que se recomienda es de 80:20 y por último una velocidad de homogenización de 18.000 rpm. Las emulsiones que contienen ASI mostraron un alto potencial, lo que las hace interesantes para ser aplicadas en alimentos con el fin de enriquecerlos con los ácidos grasos que contienen que son esenciales para el metabolismo y contribuyen a la prevención de enfermedades. Es posible afirmar que este aceite se convertirá en una interesante materia prima para el desarrollo de nuevos productos en los próximos años. En el caso específico de Colombia, este aceite también puede ser una excelente alternativa a los cultivos ilícitos y, por lo tanto, contribuir a reducir los problemas socioeconómicos del país.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de los Andes por la financiación de dicha investigación.

REFERENCIAS

- [1] J. Ramírez, (2014, Enero 28) "Sacha Inchi e Higuierilla seducen como nueva alternativa de cultivos", La republica [Online]. Available: <https://www.larepublica.co/archivo/sacha-inchi-e-higuerilla-seducen-como-nueva-alternativa-de-cultivos-2100141>.
- [2] S. Wang, F. Zhu, & Y. Kakuda, "Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.): Nutritional composition, biological activity, and uses". *Food Chemistry*, 2018. vol 265. pp. 316-328.
- [3] Galli, C, and F Marangoni. "N-3 fatty acids in the Mediterranean diet." *Prostaglandins, leukotrienes, and essential fatty acids* vol. 75,3 2006, pp. 129-33. doi:10.1016/j.plefa.2006.05.007.
- [4] M. Coronado, et al. "Los ácidos grasos omega-3 y omega-6: Nutrición, bioquímica y salud". *REB*. vol 72,3. 2006, pp. 72-79.
- [5] M. Mark . "Can antioxidants vitamins materially reduce oxidative damage in humans?". *Free Radic Biol Med*. ((1999). vol 26 (7/8). pp 1034-1053.
- [6] M, Bouziane P. J. "Changes in fatty acid composition of total serum and lipoproteins particles, in growing rats given protein-deficient diet with either hydrogenated coconut or salmon oils as fat sources". *Brit. J. Nut.* (1994). vol 71. pp 375- 387.
- [7] J. Frank J. Geil , R. Freaso. "Automatic Determination of Oxidation Stability of Oil and Fatty Products". *Food Technol*. 1982; vol 36. pp 71-76.
- [8] H. Silva, M. Cerqueira, and A. Vicente, "Nanoemulsions for food applications: development and characterization". *Food and Bioprocess Technology*, 2012. vol 5(3), pp. 854-867.
- [9] S. Jafari, , "An overview of nanoencapsulation techniques and their classification, in Nanoencapsulation technologies for the food and nutraceutical industries", Academic Press 2017. pp. 1-34.
- [10] C. Wandrey, A. Bartkowiak, & S. Harding, "Materials for encapsulation". N. Zuidam & V. Nedović (Eds.), "Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing" New York: Springer-Verlag. 2010. (pp. 31-100).

- [11] H. Sahin, & M. Afşin, "Physical properties and fatty acid composition of pomegranate seed oil microcapsules prepared by using starch derivatives/whey protein blends". *European Journal of Lipid Science and Technology*, (2014). vol 116(7), pp 847–856.
- [12] M. Jimenez, H. García, & C. Beristain, "Spray-drying microencapsulation and oxidative stability of conjugated linoleic acid". *European Food Research and Technology*, (2004). vol 219(6), pp 588–592.
- [13] C. Copado, B. Diehl, V. Ixtaina, & M. Tomás, "Application of Maillard reaction products on chia seed oil microcapsules with different core/wall ratios," *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 86, pp. 408–417, 2017, doi: 10.1016/j.lwt.2017.08.010.
- [14] K. Pycia, L. Juszcak, D. Gałkowska, M. Witczak, and G. Jaworska, "Maltodextrins from chemically modified starches. Selected physicochemical properties", *Carbohydr. Polym.* 2016, vol. 146, pp. 301–309,, doi: 10.1016/j.carbpol.2016.03.057.
- [15] N. Potes, A. Lim, and Y. Roos, "Engineering Foods for Bioactives Stability and Delivery". Springer-Verlag New York. 2017.
- [16] C. Genot, T. Kabri, and A. Meynier, "Stabilization of omega-3 oils and enriched foods using emulsifiers in Food Enrichment with Omega-3 Fatty Acids3", *Elsevier*, 2013, vol 153 pp. 150–193.
- [17] S. Sadeghpour, and B. Dabir, "Three-factor response surface optimization of nano-emulsion formation using a microfluidizer". *J. Food Sci Technol*, 2015. vol 52(5), p. 2558-2571.
- [18] L. Bai, et al, "Fabrication of oil-in-water nanoemulsions by dual-channel microfluidization using natural emulsifiers: Saponins, phospholipids, proteins, and polysaccharides". *Food Hydrocoll.*, 2016. vol 61, pp. 703-711.
- [19] J. Amaya, et al. "Formulation of a responsive in vitro digestion wall material, sensory and market analyses for chia seed oil capsules". *Journal of Food Engineering*. (2021). vol 296, 110460 .<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110460>.
- [20] F. Shahidi, Y. Zhong, "Lipid oxidation: measurement methods. Bailey's industrial oil and fat products," Six Volume Set. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. pp. 357–385 (2005).
- [21] D. Castaño, et al, "acid composition of inca peanut (*Plukenetia volúbilis* linneo) and its relationship with vegetal bioactivity". *Rev Chil Nutr*, 2012, vol. 39, pp 45-52.
- [22] L. Paucar, et al, "study of physical-chemical features of sacha inchi oil (*Plukenetia volubilis* l.), olive oil (*Olea europaea*) and fish oil". *Scientia Agropecuaria*, 2015 vol.6 (4).
- [23] R. Mailer, J. Ayton, K. Graham, "The influence of growing region, cultivar and harvest timing on the diversity of Australian olive oil". *J. Am. Oil Chem.* vol. 87, pp 877–884.
- [24] A. Willnecker, A. Pramparo, "Estudio de la hidrogenación del aceite de jojoba". *Grasas y aceites*. 2009; vol 60, pp 48-54.
- [25] F. Benatmane, et al. "Effect of a linseed diet on lipogenesis, fatty acid composition and stearoyl-CoA-desaturase in rabbits." *Animal: an international journal of animal bioscience* vol. 5,12 (2011) pp1993-2000. doi:10.1017/S1751731111001145.
- [26] N. Maurer, B. Hatta-Sakoda, G. Pascual-Chagman, and L. E. Rodriguez. "Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil," *Food Chem.* 2012, vol. 134, pp. 1173–1180, , doi: 10.1016/j.foodchem.2012.02.143.
- [27] A. Viñas , "Caracterización y clasificación quimiométrica de aceites vírgenes comercializados en supermercados de Lima Metropolitana". M. S. tesis, Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú 2020. , .
- [28] I. Paz, & M. Molero, " Aplicación de la espectrofotometría uv-visible al estudio de la estabilidad térmica de aceites vegetales comestibles". *Grasas y Aceites*, 2000, vol 51, pp 424-428.
- [29] S. Schultz, G. Wagner, K. Urban & J. Ulrich . "High-pressure homogenization as a process for emulsion formation". *Chemical Engineering Technology*. (2004). vol 27,pp 361–368.
- [30] L. Ricaurte, et al. "Physical, thermal and thermodynamical study of high oleic palm oil nanoemulsions". *Food Chemistry*(2018). vol 256, pp 62–70.
- [31] C. Huck, J. Rincón, J. Montes y R. Candal, "Gelificación de Emulsiones de Caseinato de Sodio como Alternativa a las Grasas Trans", *Ciencia e Investigación*, (2016). vol 64
- [32] L. Maldonado et al. "Influencia del pH en la estabilidad de emulsiones elaboradas con proteínas de salvado de arroz". Laboratorio tecnológico del Uruguay. *INNOTEC* (2011). vol 6. Pp 28-31
- [33] D. McClements, "Food Emulsion Principle,Practices, and Techniques". Nirmala, R., Park, H. M., Navamathavan, R., Kang, H. S., El-Newehy, M. H., & Kim, H. Y. (2011). Lecithin blended polyamide-6 high aspect ratio nanofiber scaffolds via electrospinning for human osteoblast cell culture. *Materials Science and Engineering C*, vol 31(2), pp 486–493. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2010.11.013>.

- [34] F. Figueiredo et al. "Structural and emulsifying properties of sodium caseinate and lactoferrin influenced by ultrasound process" (2017). *Food Hydrocolloids*, vol 63, pp 178–188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.038>.
- [35] D. McClements, "Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques", third ed. CRC press, Estados Unidos (2015).
- [36] M. Rao, "Flow and functional models for rheological properties of fluid foods". In *Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods* (pp. 27-61). Springer, Boston, MA.
- [37] J. Israelachvili, "The science and applications of emulsions an overview". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, (1994). vol91, pp 1–8
- [38] C. Qian, & D. McClements, "Formation of nanoemulsions stabilized by model food-grade emulsifiers using high-pressure homogenization: Factors affecting particle size". *Food Hydrocolloids*, (2011). Vol 25(5), pp 1000–1008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd>.
- [39] M. Li, Y. Ma,, & J. Cui, "Whey-protein-stabilized nanoemulsions as a potential delivery system for water-insoluble curcumin". *LWT – Food Science and Technology*, (2014). Vol 59(1), pp 49–58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.054>.
- [40] C. Fierro, "Reología y fluidos no newtonianos" (2019). [En línea]. Available: <http://tecno.cruzfierro.com/formularios/reologia>.
- [41] A. Gomes, A. Costa, F. de Assis, R. da Cunha, "Role of the phases composition on the incorporation of gallic acid in O/W and W/O emulsions." *J. Food Eng.* 2016. vol 168, pp 205–214, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.07.041>.
- [42] C. Bower, et al., "The rheological and microstructural characterisation of the non linear flow behaviour of concentrated oil in water", *Rheol Acta*, (1999), vol 38, pp 145-150.
- [43] O. Pérez, K. Martínez, C. Sánchez, J. Patino , "Strategy for Foaming Improvement of Whey Protein Concentrates by Addition of Hydroxypropylmethylcellulose and Heating: Relation with Interfacial Properties". *Nutr Food Technol Open Access* (2017) vol 3(2): doi <http://dx.doi.org/10.16966/2470-6086.14>.
- [44] I. Schmidt, B. Novales, F. Boué, & M. Axelos, "Foaming properties of protein/pectin electrostatic complexes and foam structure at nanoscale". *Journal of colloid and interface science*, (2010). vol 345(2), pp 316-324.
- [45] T. Zhao, & L. Jiang. "Contact angle measurement of natural materials". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* (2018). vol 161, pp 324-330.
- [46] D. Myers. "Colloids and Colloidal Stability. Surfaces", *Interfaces, and Colloids p* ", (2002).pp 214-252.
- [47] I. Aranberri, "Estabilidad de las emulsiones de Pickeringutilizadas en la elaboración de productos agroquímicos". *Real sociedad española de química. Emulsiones*. (2009). pp 13-20.