UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Elaboración de una bebida láctea fermentada enriquecida naturalmente con ácidos grasos esenciales

Ángela Marlen Amaya Ortiz

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agrarias
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos
Bogotá, Colombia
2016

Elaboración de una bebida láctea fermentada enriquecida naturalmente con ácidos grasos esenciales

Ángela Marlen Amaya Ortiz

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Director:

Ph.D., Luis Felipe Gutiérrez Álvarez.

Línea de Investigación:

Diseño y desarrollo de productos alimenticios

Grupo de Investigación:

Grupo de investigación en biomoléculas alimentarias

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Bogotá, Colombia

2016

DEDICATORIA

A Dios por llenar mi vida de oportunidades y tener un plan y tiempo perfecto para mí.

A Valeria y Miguel Ángel por iluminar mi vida con su presencia, regalarme sus sonrisas descubriendo juntos cada día el amor verdadero.

A mis padres mi mayor bendición, por su amor infinito y apoyo incondicional en cada paso de mi vida.

A mis hermanas y sobrinos por brindarme su apoyo, comprensión y palabras de ánimo en los peores momentos.

"No hay inversión más rentable que la del conocimiento".
Benjamin Franklin.

Agradecimientos

La autora declara sus agradecimientos:

- A la Dirección de Investigación (DIB) de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, por los recursos suministrados a través del el Programa nacional de proyectos para el fortalecimiento de la investigación, la creación y la innovación en posgrados de la universidad nacional de Colombia 2013-2015.

- Al profesor Luis Felipe Gutiérrez Álvarez mi director de tesis por permitirme desarrollar el proyecto, darme a conocer el Sacha inchi y el sin número de posibilidades en desarrollo de productos a partir de nuestra biodiversidad, por enseñarme las técnicas y ser un apoyo constate en la fase experimental, por sus correcciones y sugerencias en pro mostrar resultados de calidad y sobre todo por ser ejemplo en investigación, trabajo y dedicación.

- A la profesora Patricia Restrepo y los integrantes del panel sensorial entrenado del departamento de química de la universidad nacional de Colombia sede Bogotá por su asesoría y colaboración en el análisis sensorial del yogur.

- Al profesor Carlos Mario Zuluaga por su asesoría y colaboración en el manejo estadístico de los datos.

- A Jairo Moreno por su apoyo en laboratorio durante la elaboración y análisis del yogur, sin mayor interés que el obtener datos confiables.

- A Ernesto Caballero por su colaboración en el suministro de materiales y ayuda teniendo siempre una palabra de ánimo.

- A Edicson Mauricio Rincón, Adriana Rada Guillermo Balseiro y Clara Peña por su amistad incondicional, por las risas y lágrimas durante el desarrollo de la maestría y sobre todo por el apoyo constante, ayuda y compañía en la fase experimental del proyecto.

- A Sandra Arévalo por buscar siempre soluciones administrativas a los inconvenientes que se presentaron, por ofrecerme su amistad sincera y apoyo incondicional.

- A Yolanda Quiñones y Carlos Céspedes por su amistad y ayuda desinteresada en laboratorio.

- A los laboratoristas, operarios y todos aquellos que contribuyeron en el desarrollo y finalización de la investigación.

Resumen

En este trabajo se investigó la inclusión de Sacha Inchi *(Plukenetia volubilis)* como fuente natural de ácidos grasos esenciales omega-3 y omega-6 en la elaboración de una bebida láctea fermentada tipo yogur. Se evaluó el efecto de la concentración de sacha inchi (0%, 2%, 4% y agua de sacha inchi) y del porcentaje de reconstitución con leche en polvo entera (13,5 y 15%) en la cinética de fermentación y en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de los yogures durante 21 días de almacenamiento refrigerado.

Los resultados obtenidos indican que la cinética de fermentación no vio influenciada por las diferentes formulaciones, pero la composición proximal de los yogures si se vio afectada tanto por la concentración de sacha inchi, como por el porcentaje de reconstitución con leche en polvo. Los yogures adicionados con sacha inchi presentaron una composición en ácidos grasos única, rica en ácidos grasos poliinsaturados (35%), con contenidos de omega-3 y omega-6 que variaron entre 12 y 19% y 10 y 15%, respectivamente. Las muestras de yogur ricas en omegas no presentaron oxidación durante el tiempo de almacenamiento refrigerado y tuvieron una aceptación general de alrededor del 60%.

Estos resultados sugieren que el sacha inchi puede utilizarse como un ingrediente bioactivo en la formulación de derivados lácteos como el yogur.

Palabras clave: Yogur, ácidos grasos esenciales, omega-3, omega-6, sacha inchi, *Plukenetia volubilis*.

Abstract

In this work the inclusion of Sacha Inchi *(Plukenetia volubilis)* as natural source of essential fatty acids omega-3 and omega-6 in the manufacture of a yogurt-type fermented milk was investigated. The effects of the concentration of sacha inchi (0%, 2%, 4% and aqueous extract of sacha inchi), and the percentage of reconstitution with whole milk powder (13.5 and 15%) on the fermentation kinetics, and on the physcochemical, microbiological and sensorial properties of the yogurt samples during 21 days of refrigerated storage was were evaluated.

The obtained results indicate that the fermentation kinetics was not influenced by the different formulations, but the proximal composition of the yogurt samples was affected for both the concentration of sacha inchi and the percentage of reconstitution with milk powder. The yogurt samples added with sacha inchi presented a unique fatty acid composition, rich in polyunsaturated fatty acids (35%), with contents of omega-3 and omega-6 varying between 12 and 19%, and 10 and 15%, respectively. The yogurt samples rich in omegas did not show oxidation during refrigerated storage, and presented a general acceptation of about 60%.

These results suggest that sacha inchi may be used as bioactive ingredient in the formulation of dairy products such as yogurt.

Keywords: Yogur, essential fatty acids, omega-3, omega-6, sacha inchi, *Plukenetia volubilis*.

Contenido

Resumen ..... **ix**

Abstract ..... **xi**

Introducción **1**

2. Marco teórico **3**
2.1. Productos lácteos 3
2.1.1. Yogur 3
2.1.2. Enriquecimiento de yogur con ácidos grasos esenciales 5
2.2. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) 6
2.2.1. Características del fruto 7
2.2.2. Composición química 8
2.2.3. Propiedades y usos 10
2.3. Ácidos grasos esenciales 10

3. Objetivos **13**
3.1. Objetivo general 13
3.2. Objetivos específicos 13

4. Materiales y métodos **15**
4.1. Materiales 15
4.2. Métodos 15
4.2.1. Pretratamiento del sacha inchi 15
4.2.2. Obtención de “leche” de sacha inchi 15
4.2.3. Elaboración de los yogures 16
4.2.4. Caracterización de los yogures 16
4.2.4.1. Análisis proximal 16
4.2.4.2. Determinación del pH 16
4.2.4.3. Determinación de la acidez titulable 17
4.2.4.4. Textura 17
4.2.4.5. Propiedades de flujo 17
4.2.4.6. Capacidad de retención de agua 17
4.2.4.7. Color 18
4.2.4.8. Análisis de ácidos grasos 18
4.2.4.9. Estabilidad oxidativa 19
4.2.4.10. Análisis microbiológicos 19
4.2.4.11. Análisis sensorial 19
4.2.4.12. Diseño experimental y análisis estadístico 20

5. Resultados y discusión **23**
5.1. Elaboración de los yogures 23
5.2. Composición proximal de los yogures 24
5.3. Variación del pH y de la acidez de los yogures durante el tiempo de vida útil 26
5.4. Variación de los parámetros de textura de los yogures durante el tiempo de vida útil 28

5.5. Propiedades de flujo 30
5.6. Capacidad de retención de agua 31
5.7. Parámetros de color 31
5.8. Perfil de ácidos grasos 35
5.9. Estabilidad oxidativa 38
5.10. Calidad microbiológica de los yogures 39
5.11. Análisis de componentes principales 40
5.12. Análisis sensorial 42

6. Conclusiones 45

7. Recomendaciones 47

8. Referencias 49

Anexos 55
Anexo 1. Formato evaluación sensorial panel entrenado 55
Anexo 2. Formato evaluación sensorial consumidores 58
Anexo 3. Archivo fotográfico elaboración y análisis de yogures. 59

Lista de figuras

Figura 1. Fruto de sacha inchi. Fuente: agroexportando.blogspot.com 7
Figura 2. Semillas de sacha inchi. 8
Figura 3. Cinética de fermentación de los yogures 24
Figura 4. Viscosidad aparente de los yogures en función de la velocidad de cizallamiento 30
Figura 5. (a) Cambio neto color (ΔE) y de croma (ΔC) de las muestras de yogur durante almacenamiento refrigerado (Día 1 al 21)..... 34
Figura 6. (a) Score plot y (b) Loading plot obtenido mediante PCA del perfil de FAMEs de las muestras de yogur. 40
Figura 7. (a) Score plot y (b) loading plot obtenido mediante PCA con el total de las variables evaluadas en muestras de yogur..... 41
Figura 8. (a) Score plot y (b) Loading Plot obtenido mediante PCA con variables seleccionadas evaluadas en muestras de yogur 42
Figura 9. Perfil sensorial panel entrenado..... 43
Figura 10. Calificación sensorial yogur consumidores habituales. 44

Lista de tablas

Tabla 1. Composición química de la almendra de Sacha Inchi 8
Tabla 2. Composición de aminoácidos de la almendra de Sacha Inchi 9
Tabla 3. Composición de ácidos grasos de la almendra de Sacha Inchi 10
Tabla 4. Composición proximal (%) de los yogures* 25
Tabla 5. Post-acidificación (pH) y acidez titulable de los yogures durante almacenamiento refrigerado (4-6ºC)* 27
Tabla 6. Parámetros instrumentales de textura de los yogures 29
Tabla 7. Capacidad de retención de agua de los yogures durante el tiempo de almacenamiento refrigerado 31
Tabla 8. Parámetros de color de las muestras de yogur durante almacenamiento refrigerado 33
Tabla 9. Concentración promedio FAMEs presentes en los yogures durante almacenamiento refrigerado* 36
Tabla 10. Concentración de hidroperóxidos (μmol/kg) de las muestras de yogur durante el tiempo de almacenamiento 39
Tabla 11. Calidad microbiológica de los yogures 39
Tabla 12. Variables con mayor incidencia en los yogures elaborados 41

Introducción

Durante las últimas dos décadas la industria alimentaria ha sufrido enormes cambios en respuesta a la demanda de los consumidores, que cada vez asocian más los efectos de la dieta en su salud y ya no se conforman con alimentos que solamente cubran sus requerimientos nutricionales básicos, sino que prefieren productos alimenticios que contribuyan a promover la salud humana y a reducir el riesgo de enfermedades, pero que además su consumo sea práctico y proporcione bienestar (Shiby & Mishra, 2013). Esta dinámica ha dado origen a un mercado creciente de alimentos funcionales, dentro del cual la industria láctea se ha posicionado de manera importante, pues los derivados lácteos por su naturaleza han sido considerados como excelentes "vehículos" de compuestos biológicamente activos (Osorio, Ramirez, Novoa, & Gutiérrez, 2011).

El yogur es un producto lácteo obtenido mediante la fermentación de la leche con bacterias ácido lácticas específicas (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbruekii* subs. *bulgaricus*), reconocido como un alimento saludable debido a los beneficios que ejercen sus ingredientes naturales (proteínas, péptidos, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales) en la salud humana (Williams, Hooper, Spiro, & Stanner, 2015). No obstante, la industria láctea ha mostrado un gran interés en la incorporación de biomoléculas en productos como el yogur ya que puede generar un impacto nutricional importante en la población, por ser un alimento de alto consumo (M. Singh, Kim, & Liu, 2012). Actualmente los probióticos son los principales componentes bioactivos adicionados a los yogures, pero la incorporación de otros ingredientes funcionales procedentes de fuentes lácteas y/o no lácteas (*p.ef.* prebióticos/fibra, fitoesteroles, polifenoles, estanoles, péptidos bioactivos, isoflavonas, ácido linoleico conjugado, ácidos grasos omega-3 y omega-6, concentrado de proteína de suero, minerales, vitaminas, antioxidantes, etc.,) es y ha sido objeto de numerosos estudios (Hashemi Gahruie, Eskandari, Mesbahi, & Hanifpour, 2015; Özer & Kirmaci, 2010).

Los ácidos grasos esenciales (AGE) de las familias omega-6 y omega-3 son un grupo de lípidos saludables que han ganado una atención especial como ingredientes funcionales, debido a sus efectos positivos en la salud. Muchos estudios demuestran que los AGE

tienen efectos beneficiosos sobre el desarrollo neuronal y visual y la prevención de enfermedades cardiovasculares, hipertensión, cáncer, diabetes, fibrosis quística, asma, artritis, depresión, esquizofrenia y trastornos de déficit de atención (Figueroa, Cordero, Ilan, & De Leon, 2013; Jeppesen, Schiller, & Schulze, 2013; Kolanowski & Laufenberg, 2006; Kris-Etherton, Harris, Appel, & Comm, 2002; Takahata, Monobe, Tada, & Weber, 1998). Adicionalmente, los AGE son indispensables para el desarrollo cerebral, la capacidad de aprendizaje y concentración de los niños (Özer & Kirmaci, 2010).

Los alimentos de origen pesquero son las principales fuentes naturales de ácidos grasos esenciales omega-3 y omega-6, seguidos por los aceites vegetales y las nueces. Sin embargo, la adición de lípidos de fuentes marinas en productos como el yogur ha demostrado tener un efecto negativo en su textura, propiedades sensoriales y vida útil (Özer & Kirmaci, 2010; Sabeena Farvin, Baron, Nielsen, & Jacobsen, 2010). Por consiguiente, la utilización de lípidos derivados de fuentes vegetales representa una buena alternativa para la fortificación de yogur con ácidos grasos omega-3 y omega-6 (Dal Bello, Torri, Piochi, & Zeppa, 2015).

Colombia es un país con una inmensa diversidad biológica y algunos productos anteriormente subvalorados comienzan a ganar importancia agrícola, tecnológica y comercial. Por lo tanto, desarrollar alimentos que incluyan productos nativos constituye una oportunidad de integrar los sectores socioeconómicos y ambientales a nivel regional, generando posibilidades de desarrollo sostenible para las comunidades (do Espirito Santo et al., 2010). Un ejemplo de este tipo de productos promisorios es el Sacha inchi *(Plukenetia volubilis)*, planta oleaginosa trepadora silvestre que posee alto valor proteico y un elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados (~82% del total de ácidos grasos) (Chirinos et al., 2013; Gutiérrez, Rosada, & Jimenez, 2011).

En este proyecto se investigó la inclusión de Sacha Inchi *(Plukenetia volubilis)* como fuente de ácidos grasos omega-3 y omega-6 en la elaboración de una bebida láctea fermentada tipo yogur. Se evaluó el efecto de varios niveles de adición de almendra (0-4%) en leches con diferentes concentraciones de sólidos lácteos no grasos (13,5 y 15%), en la cinética de fermentación y en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales del producto durante 21 días de almacenamiento refrigerado. Con base en nuestro conocimiento, es la primera vez que un estudio de este tipo es llevado a cabo.

2. Marco teórico

2.1. Productos lácteos

Los productos lácteos son reconocidos como alimentos muy nutritivos con múltiples efectos benéficos para la salud, debido a su contenido de proteína de alto valor biológico, minerales como el calcio, vitaminas y ácidos grasos (Alais, 1985; Barón, 2010). Productos como el queso, las leches fermentadas, la mantequilla, las cremas y los helados cuentan con gran presencia en el mercado debido a su aceptación por parte del consumidor (Bonet, Juárez, Moreno, Ortega, & Suárez, 2009). Estudios recientes indican que productos como el yogur, el queso y los helados están dentro de los cinco snacks más consumidos, por encima de los productos de paquete y fritos (Forero, 2015).

La leche y sus derivados han sido por excelencia los principales productos para el desarrollo de alimentos funcionales a nivel mundial. En consecuencia, es posible encontrar en el mercado una gran variedad de lácteos funcionales, incluyendo productos bajos en grasa, deslactosados, con microorganismos probióticos, con adición de fibra dietaria, de péptidos bioactivos, enriquecidos con ácidos grasos esenciales, etc. (Bonet et al., 2009; Durá, 2008; Fellows & Hampton, 1992; Maza & Legorreta, 2011; Rinaldi, Rioux, Britten, & Turgeon, 2015).

2.1.1. Yogur

El yogur es un producto lácteo fermentado obtenido por fermentación ácido láctica a través de la acción de los microorganismos *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbruekii* subs. *bulgaricus*. El ácido láctico producido durante la fermentación reacciona con las Adicionalmente, es un productos versátil ya que proteínas de la leche confiriendo las características sensoriales y de textura propias de este producto (Caleja et al., 2016). El yogur cuenta con alta inocuidad pues la presencia de los microorganismos adicionados inhibe el desarrollo de microorganismos patógenos.puede incluir otros ingredientes con el fin de incrementar y/o mejorar su aporte nutricional (Maza & Legorreta, 2011).

El yogur es un producto con gran acogida por el consumidor, pues presenta grandes beneficios para la salud como el mejoramiento del tránsito intestinal y la regulación del sistema inmunológico. Esto, sumado a las facilidades de producción y comercialización lo ha convertido en un alimento de consumo masivo en muchos países, ideal para posicionarse dentro del mercado de los alimentos funcionales (Barón, 2010).

Durante el proceso de elaboración del yogur, la leche líquida previamente higienizada es objeto de una fermentación controlada que conduce al descenso del pH por acción del metabolismo de las bacterias ácido lácticas sobre la lactosa. Al llegar al punto isoeléctrico de las caseínas (4.6) se produce una agregación de las micelas de caseína formando un gel de estructura tridimensional con un aroma y sabor característicos (Serafeimidou, Zlatanos, Kritikos, & Tourianis, 2013).

Los cultivos iniciadores *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* ssp*. Bulgaricus* crecen a temperaturas entre los 37 y 45ºC. El *Streptococcus thermophilus*, muestra una acción importante en la primera fase del crecimiento simbiótico y el *Lactobacillus* en la segunda parte de la fermentación y post-acidificación del yogur debido a su resistencia a valores de pH bajos (Barón, 2010). Aspectos como la elaboración y composición de los ingredientes cuentan con una relación directa con la consistencia y resistencia del yogur. El cuerpo depende de la masa en su conjunto y el sabor de la calidad y correcta combinación de los ingredientes. Estos aspectos deben tenerse en cuenta ya que la calidad nutritiva, el sabor, el cuerpo y la textura son las principales cualidades por las que se juzga la calidad de yogur (Pinto, 2006).

El yogur es un producto con gran acogida dentro de los consumidores haciendo parte de la dieta diaria, especialmente de mujeres, niños y adolescentes. A nivel mundial es uno de los productos con mayor incremento de consumo en los últimos 30 años gracias a los beneficios en la salud que se le asocian (Cueva & Aryana, 2008). En Colombia hace parte del grupo de leche y derivados, cuyo gasto constituye el 2,54% de los recursos que se destinan para la canasta familiar, por encima de artículos como el pan (1,46%) y los huevos (0,74%), con un gasto promedio per cápita de $14.165 para yogur tipo bebible y $6.662 para yogur tipo cuchareable (Forero, 2015) Sin embargo, su consumo es de apenas 5 kg por persona por año, de los más bajos de la región, en relación con otros países como Brasil, México y Chile (Tamillow, 2012). Esta situación constituye una gran oportunidad pues el bajo consumo implica un amplio espacio por abarcar en el que se

incentive el consumo de bebidas lácteas y se apunte a mercados específicos en busca de mejorar la alimentación desarrollando productos enriquecidos como vehículo de compuestos benéficos para la salud.

2.1.2. Enriquecimiento de yogur con ácidos grasos esenciales

Se han atribuido diferentes tipos de efectos benéficos a lácteos fermentados como la prevención de infecciones gastrointestinales, reducción de los niveles de colesterol en suero y la actividad antimutagénica, además de ser recomendados a personas intolerantes a la lactosa y pacientes que sufren de aterosclerosis (Shiby & Mishra, 2013). El yogur ha sido usado como vehículo de distintos nutrientes potencialmente benéficos para la salud, entre ellos los AGE, pues las fuentes de consumo de estas biomoléculas son limitadas y se han reportado consumos inferiores a los mínimos recomendados (0,2 g de EPA más DHA/día) (Tamjidi, Nasirpour, & Shahedi, 2012). Recientemente en el sector lácteo encontramos el uso frecuente de aceites de origen marino propensos a la oxidación y generación de olores y sabores poco agradables, lo cual se ha venido estudiando en pro de obtener alternativas viables de inclusión. Mostrando como el uso de tecnologías como la microencapsulacion se perfilan como una solución al problema, demostrado que la inclusión de aceites de salmón microencapsulado no afectó significativamente las propiedades de calidad del yogur (pH, sinéresis, estabilidad oxidativa y percepción sensorial) al ser agregado en cantidades de 2% sobre el valor total de la grasa de forma directa antes de iniciar los procesos de homogenización y pasteurización (J. D. Estrada, C. Boeneke, P. Bechtel, & S. Sathivel, 2011). Chee y colaboradores (2005) lograron enriquecer yogur con emulsiones de aceite marino, teniendo una mejor protección de los AGP contra la oxidación al igual que Tamjidi y colaboradores (2012) quienes reportaron baja separación del suero, alta viscosidad y alta capacidad de retención de agua, al enriquecer yogur con omega-3 de origen marino.

Nielsen y colaboradores (2009) profundizaron en el estudio del efecto de incluir AGP en bebidas lácteas tipo yogur y leche. Los resultados indicaron que el yogur presentaba una alta estabilidad oxidativa, mostrando que es buen vehículo para incluir este tipo de ácidos grasos, debido a que la oxidación resultó ser más baja en comparación con la leche enriquecida, debido a la presencia de compuestos antioxidantes dentro del yogur resultantes de la fermentación propia del producto.

La adición de distintos frutos ha mostrado tener un efecto significativo sobre el perfil de ácidos grasos del yogur, mejorando el contenido de PUFAs (do Espirito Santo et al., 2010). Al incluir pulpa de açaí se incrementó el porcentaje de grasas monoinsaturadas y el contenido de PUFAs propiciando un aumento en la concentración de los ácidos linoleico y α-linolénico durante la fermentación (do Espirito Santo et al., 2010). Frutos secos se han probado con el fin de incrementar el contenido de AGE. Autores como Isanga y Zhang (2009) desarrollaron yogur a base de leche de maní obteniendo un mayor contenido de proteína y grasa, lo que además condujo a un mayor contenido de ácidos grasos insaturados principalmente oleico y linoleico en comparación con la muestra control. El producto además mostró buena capacidad de retención de agua y menor susceptibilidad a la sinéresis, teniendo calificaciones sensoriales aceptables.

Estudios más recientes han hecho uso de emulsiones y nanoemulsiones para la incorporación de AGE en varios tipos de yogures (Goyal et al., 2015).

2.2. Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

El sacha inchi *(Plukenetia volubilis L.)* es una planta trepadora silvestre oleaginosa, perteneciente a la familia *Euphorbiaceae* (Gorriti et al., 2010) también conocida como maní del inca, maní silvestre, maní sacha, sacha maní, maní del monte, mani de montaña, supua, sacha yuchi, sacha yuchiqui, sampannankii, suwaa, N´gart, maní de bejuco, cacahuete inca, e inca peanut (Chirinos et al., 2013; Gutiérrez et al., 2011). De origen rústico neotropical, el sacha inchi ha sido incorporado en la actividad agrícola de diversos grupos nativos de la selva amazónica asociándose a su dieta, utilizándose como sustituto del maní tradicional y en preparación de mezclas nutritivas para consumo humano.

El sacha inchi se encuentra distribuido desde las Antillas menores, Surinam y el sector noroeste de la cuenca amazónica en Venezuela y Colombia hasta Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil, fundamentalmente en la selva alta y baja (Coronell, 2012). Crece en alturas que van desde los 100 hasta los 2000 msnm, con disponibilidad permanente de agua preferiblemente con lluvias uniformes durante todo el año (promedio de 850 a 1000 mm) a temperaturas que oscilan entre los 10 y 36,6°C y en presencia de suelos aluviales planos bien drenados (Báez & Borja, 2013; Coronell, 2012; Gorriti et al., 2010; Hurtado, 2013; Sánchez, 2012). Es una planta de poca exigencia nutricional. Por lo general crece

en suelos ácidos (pH 3,5 – 5,0) y con alta concentración de aluminio, presentando un mejor comportamiento en suelos de textura media (franco-arcillo-arenosa, franco-arcillosa y franco-arenosa) y menor en los muy arcillosos o muy arenosos siendo un cultivo fácil, rápido y de calidad industrial (Báez & Borja, 2013; Coronell, 2012)

En Colombia se cultiva actualmente en varios departamentos, incluyendo Chocó, Meta, Caquetá, Amazonas, Putumayo, Antioquia, Nariño, Cundinamarca y Caldas. El sacha inchi es considerado un cultivo promisorio debido a que posee un alto potencial de rendimiento económico presentándose como una alternativa viable para remplazar cultivos ilícitos como la coca, gracias al reconocimiento de los beneficios y usos en la industria farmacéutica y alimentaria, por lo cual ha ganado mayor relevancia a nivel nacional e internacional (Gutiérrez et al., 2011).

2.2.1. Características del fruto

Los frutos de sacha inchi tienen forma de estrella (Figura 1) con número variable de lóbulos que pueden ir desde cuatro hasta ocho, con dimensiones de 6 a 7 cm de diámetro y espesor de 3 a 4 cm (Báez & Borja, 2013; Sánchez, 2012). Dentro de los lóbulos, se encuentran las semillas (Figura 2) que son de color marrón, corrugadas y venadas, de forma lenticular con diámetro de 1.5 a 2 cm y peso promedio de 1 g (Báez & Borja, 2013; Sánchez, 2012). El 40% corresponde a la cáscara y 60% a la almendra (Báez & Borja, 2013). Las almendra son de sabor amargo debido a que posee sustancias termolábiles, además de un alto valor proteico y apreciable contenido de PUFAs (Chirinos et al., 2013; Gutiérrez et al., 2011).

Figura 1. Fruto de sacha inchi. Fuente: agroexportando.blogspot.com

Figura 2. Semillas de sacha inchi.

2.2.2. Composición química

Distintos autores han estudiado la composición química de las semilla de sacha inchi, como se aprecia en la Tabla 1. La almendra de sacha inchi está principalmente constituida por proteína y aceite, siendo mejor que otras oleaginosas. Sin embargo, dicha composición puede variar debido a la influencia de distintos factores como el tiempo de cosecha, las condiciones geográficas y climáticas del medio, las subespecies, el lugar de procedencia, el tipo de almacenamiento y el tratamiento post-cosecha.(Coronell, 2012; Ruiz, Díaz, Anaya, & Rojas, 2013)

Tabla 1. Composición química de la almendra de Sacha Inchi

	(Coronell, 2012)	**(Hurtado, 2013)**	**(Gutiérrez et al., 2011)**	**(Ruiz et al., 2013)**	**(López, 2010)**
Humedad %	4,2	4,96	3,3		6,4
Grasa %	48,7	42,75	42,0	49,0	51,4
Proteína %	33,3	29,85	24,7	29,6	24,2
Ceniza %	2,7	3,06	4,0	2,7	2,7
Carbohidratos %	9,5	16,5	30,9	12,1	4,03
Fibra %	1,6	2,91		6,6	11,3
Potasio (ppm)			5563,5		
Magnesio (ppm)			3210,0		
Calcio (ppm)			2406,0		

El sacha inchi se considera una buena fuente de proteína debido a que dentro de su composición se destaca el contenido de aminoácidos esenciales como cisteína, tirosina, treonina y triptófano. (Báez & Borja, 2013; López, 2010) (Ver Tabla 2). Dicha proteína

posee alta digestibilidad y es avalada por la FAO para todos los grupos erarios a excepción de infantes (Coronell, 2012; Hanssen & Schmitz-Hübsch, 2011).

Tabla 2. Composición de aminoácidos de la almendra de Sacha Inchi

Aminoácidos esenciales mg/g			
	(Coronell, 2012)	**(Ruiz et al., 2013)**	**Requerimiento FAO**
Histidina	10 a 26	17	19
Isoleucina	50	26	28
Leucina	64 -79	37	66
Lisina	43-72	28	58
Metionina	12 a 14	14	
Cisteína	25-43	8	
Metionina + Cisteína	37-57		25
Fenilalanina	9-24	13	
Tirosina	55-58	58	
Fenilalanina + Tirosina	67-79		63
Treonina	43-57	36	34
Triptófano	29-44	13	11
Valina	40-62	40	35
Aminoácidos no esenciales			
Alanina	36-37	14	
Arginina	55-85	44	
Asparginina	11-127	80	
Glutamina	133-146	31	
Glicina	48-118	218	
Serina	60-64	18	

En cuanto a la fracción grasa se considera que entre el 80,7 y el 83,2% corresponde a PUFAs, del 9,6 al 9,8% a ácidos grasos monoinsaturados (AGM) y del 6,91 al 9,08% a ácidos grasos saturados (AS) (Gorriti et al., 2010; López, 2010). Teniendo un alto contenido de PUFAs del tipo ALA (omega-3) y LA (omega-6) (43.8 y 37%, respectivamente) (ver tabla 3) (Coronell, 2012; Gutiérrez et al., 2011). Sin embargo, este contenido es variable ya que condiciones como la temperatura del suelo, influyen directamente en la formación de los PUFAs durante el crecimiento de las plantas. Temperaturas por encima de 22ºC favorecen la formación de AGS, mientras que temperaturas menores de 22ºC favorecen la formación de PUFAs (Sánchez, 2012).

Tabla 3. Composición de ácidos grasos de la almendra de Sacha Inchi

	(López, 2010)	(Hurtado, 2013)	(Gutiérrez et al., 2011)	(Gorriti et al., 2010)	(Sánchez, 2012)
Mirístico (C14:0)	1.24	-	-	-	-
Palmítico (16:0)	5.61	4.20	4.4	3.95	4.24
Margárico (17:0)	-	0.091	-	-	-
Esteárico (18:0)	2.23	2.89	2.3	2.97	2.50
Oleico ω9 (18:1)	9.6	8.45	9.1	9.01	8.41
Linoleico (18:2n6)	36.99	35.3	33.4	36.19	34.08
Linolénico (18:3 n3)	43.75	47.7	50.8	47.06	50.41
Araquídico (20:0)	-	0.080	-	-	-
Eicosenóico (20:1)	-	0.23	-	-	-

2.2.3. Propiedades y usos

El sacha inchi ha sido usado desde tiempos ancestrales por sus distintos beneficios para la salud, como reconstituyente para el trabajo, para curar dolores musculares y reumáticos, siendo útil para cicatrizar, revitalizar y rejuvenecer la piel y también como alimento (Coronell, 2012; Hanssen & Schmitz-Hübsch, 2011; Hurtado, 2013). En la actualidad se ha convertido en una materia prima importante en sectores como el alimenticio, cosmético y el farmacéutico, debido a la composición de su semilla. Entre los años 2007 y 2008 se registró un aumento del 100% en la comercialización de aceite (de 60.000 a 120.000 L) (Hanssen & Schmitz-Hübsch, 2011). Además, los subproductos resultantes del proceso de extracción del aceite como la torta y cáscara poseen potencial a nivel industrial por ser buena fuente de proteína y fibra usándose como suplementos dietéticos en alimenticios humana y animal o en otros campos como el farmacéutico ya que se ha demostrado en laboratorio que un consumo constante tiene efecto inmunoestimulante, gastroprotector, antioxidante e hipocolesterolémico (Coronell, 2012; Hurtado, 2013).

2.3. Ácidos grasos esenciales

Los ácidos grasos esenciales (AGE) se definen como aquellos que no pueden ser sintetizados por el hombre debido a la carencia de las enzimas desaturazas que introducen los enlaces dobles en los primeros átomos de carbono de la cadena y por lo

tanto sus requerimientos deben suplirse a partir de la dieta (Báez & Borja, 2013; Coronell, 2012).

Los AGE se encuentran presentes en ingredientes de origen vegetal o pesquero, son importantes para mantener la estructura de las membranas celulares, facilitar la absorción de las vitaminas liposolubles, regular el metabolismo del colesterol y producir eicosanoides los cuales regulan múltiples procesos celulares mostrando efectos en el comportamiento del tono vascular y bronquial, motilidad gastrointestinal y uterina, protección gástrica, diuresis, coagulación sanguínea, temperatura corporal, fenómenos analgésicos, inflamatorios e inmunitarios (Travieso, 2010).

Estudios han demostrado que debido al consumo frecuente de AGE, estos logran acumularse en el organismo en cantidad suficiente como para reducir el nivel del LDL colesterol en la corriente sanguínea y que su uso en tratamiento de enfermedades como trastorno por déficit de atención con hiperactividad y artritis, muestra resultados benéficos, debido a que los AGE generan una menor respuesta inflamatoria de las prostaglandinas (Hanssen & Schmitz-Hübsch, 2011). Además, se ha demostrado su efectividad en la prevención de enfermedades coronarias e hipertensión, al igual de su importancia durante el embarazo y la lactancia (Báez & Borja, 2013).

Existen dos familias de AGE, las series omega-3 (alfa linolénico ALA (18:3 ω-3)) y omega-6 (alfa linoleico LA (18:2 ω-6)) (Báez & Borja, 2013; Sánchez, 2012). Estos ácidos grasos poliinsaturados tienen uno o más dobles enlaces y pueden ser alargados y de-saturados en sus derivados de cadena larga, ácido araquidónico (derivado del LA) y eicosapentanoico (EPA) y ácido docosahexanoico (DHA) (derivados del ALA). (Báez & Borja, 2013; Travieso, 2010). Además de ser fuente importante de energía, estos AGE intervienen en diversos procesos fisiológicos teniendo que ácidos grasos del tipo omega-3 (EPA y DHA), son importantes para el funcionamiento tanto del encéfalo humano, como del sistema nervioso central y las membranas celulares (Báez & Borja, 2013). Deficiencias en ácidos grasos del tipo omega-6 tienen implicaciones clínicas como retraso del crecimiento, lesiones cutáneas, insuficiencia reproductiva, hígado graso y polidipsia (Báez & Borja, 2013).

Nutricionalmente es importante que las grasas insaturadas predominen sobre las saturadas y que se mantenga una proporción adecuada entre los ácidos grasos omega-6 y omega-3. Si bien los valores óptimos de esta proporción varían de acuerdo a la

prevalencia de diferentes patologías, la relación óptima varía de 1:1 a 4:1 dependiendo de la enfermedad en consideración (Simopoulos, 2002).

Actualmente, la cantidad ácidos grasos de omega-3 en la dieta occidental es de aproximadamente 0,15 g/día muy por debajo de las recomendaciones de consumo que se encuentran entre el 5 y 10% de omega-6 y entre el 0,6 y 1,2% de omega 3, es decir, para una dieta de 2000 kcal al día debería ingerirse entre 11 y 22 g al día de omega-6 y entre 1,3 y 2,6 g diarios de omega-3. (Báez & Borja, 2013).

Generalmente se puede encontrar omega 3 en carnes y vegetales, teniendo que ácidos grasos del tipo omega 3 como EPA y DHA se encuentran en mayor proporción en carne de pescados como la caballa, el salmón, las sardinas, las anchoas y las sardinas debido al consumo de fitoplancton el cual es rico en EPA y DHA (Fernández-Travieso, 2010; Lane & Derbyshire, 2015) otras fuentes proteicas animales como carne de aves de corral y particularmente la de rumiantes y los productos lácteos también proporcionan ALA en menores cantidades siendo considerablemente menor a la proporcionada por pescados. En cuanto a las fuentes vegetales se observa un mayor contenido de ALA y LA precursores de EPA, DHA y ácido araquidónico (Lane & Derbyshire, 2015).

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Obtener una bebida láctea fermentada tipo yogur, enriquecida naturalmente con ácidos grasos esenciales omega-3 y omega-6, utilizando semillas de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) como fuente lipídica.

3.2. Objetivos específicos

- Observar la influencia de la adición de almendra de Sacha Inchi en las características del proceso tecnológico de obtención de la bebida láctea fermentada tipo yogur.
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de los productos elaborados durante su tiempo de vida útil.

4. Materiales y métodos

4.1. Materiales

Sacha inchi: Las almendras de sacha inchi utilizadas en este estudio fueron gentilmente suministradas por productores del Departamento de Putumayo. Una vez recibidas en el laboratorio, se empacaron (~500 g) al vacío en bolsas de polietileno y se congelaron a -40°C hasta su utilización.

Reactivos: A menos que se indique lo contrario, todos los reactivos utilizados fueron grado analítico, salvo aquellos empleados en los análisis cromatográficos que fueron grado cromatográfico.

4.2. Métodos

4.2.1. Pretratamiento del sacha inchi

Las semillas de sacha inchi fueron descascarilladas manualmente y posteriormente se seleccionaron solo aquellas que se encontraban en buen estado, descartando almendras secas, con presencia de hogos y/o en mal estado general. Una vez seleccionadas se lavaron con agua con el fin de eliminar impurezas y retirar capa superficial. Las almendras se tostaron a una temperatura de aproximadamente 160°C hasta eliminar completamente su astringencia. Seguidamente fueron sometidas a un proceso de reducción de tamaño con la ayuda de un procesador de alimentos y se tamizaron para obtener tamaños de partícula uniformes de aproximadamente 2 mm.

4.2.2. Obtención de “leche” de sacha inchi

Las partículas de sacha inchi de ~2 mm fueron suspendidas en 2 litros de agua y sometidas a calentamiento a 80ºC con agitación constante durante 20 minutos. Posteriormente la suspensión fue filtrada y la solución resultante fue utilizada en la elaboración del yogur.

4.2.3. Elaboración de los yogures

La “leche” de Sacha Inchi obtenida fue utilizada para reconstitución con leche en polvo entera a dos concentraciones diferentes de sólidos lácteos no grasos (13.5 y 15%). Se adicionó azúcar (7.5%) y trozos de almendra de sacha inchi en dos concentraciones diferentes (2 y 4%). Las mezclas (1 kg) se envasaron en botellas tapa rosca autoclavables de 1 L y se sometieron a tratamiento térmico (80ºC, 20 minutos). Luego de enfriarse a 40-42°C, las mezclas fueron inoculadas con el cultivo inciador (Yo-Mix 205 LYO 250 DCU, DUPONT Nutrition & Health), según las especificaciones técnicas del fabricante. La fermentación se realizó a 40-42°C hasta alcanzar un pH de 4.6 (~5 horas), luego de lo cual las muestras fueron refrigeradas (4–6°C). La cinética de fermentación fue monitoreada por mediciones de pH cada 30 minutos.

Los yogures fueron agitados manualmente al día siguiente de su elaboración. Cada tratamiento (de ~1 kg) fue distribuido en cuatro recipientes plásticos de capacidad 250 g, los cuales fueron mantenidos en condiciones de refrigeración (4–6°C) y analizados durante el tiempo de vida útil, los días 1, 14 y 21.

4.2.4. Caracterización de los yogures

4.2.4.1. Análisis proximal

El contenido de proteína, cenizas y humedad se determine utilizando los siguientes métodos oficiales de análisis 950.36, 923.03 y 935.29 respectivamente (AOAC, 2012). El contenido de materia grasa fue determinado de acuerdo al método descrito por Folch et al. (1957) con algunas modificaciones (Osorio et al., 2011). La concentración total de carbohidratos fue calculada por diferencia.

4.2.4.2. Determinación del pH

El pH de las muestras de yogur fue determinado durante el tiempo de vida útil, los días 1, 14 y 21, utilizando un pH-metro Orion 420A+ con compensación automática de temperatura, el cual fue previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0.

4.2.4.3. Determinación de la acidez titulable

La acidez de los yogures elaborados, expresada como porcentaje de ácido láctico, fue determinada durante el tiempo de vida útil, los días 1, 14 y 21, mediante titulación con NaOH 0.1N utilizando fenolftaleína como indicador.

4.2.4.4. Textura

El perfil de textura de los yogures se determinó empleando un texturómetro (TA-TXX Plus Texture Analyzer, Stable Micro Systems, Godalming, UK) equipado con el software Texture Exponent 32 (version 4.0.8.0, Stable Microsystems, Godalming, UK). Las muestras (~150 mL a 10ºC) fueron dispuestas en un recipiente acrílico de 250 mL y sometidas a un test de "back extrusión" utilizando una probeta en acrílico A/BE de 2,5 cm. La velocidad del test fue de 1 mm/s y la distancia de penetración fue de 20 mm. Para cada muestra se calculó la firmeza, la consistencia y la cohesividad durante el tiempo de vida útil, los días 1, 14 y 21.

4.2.4.5. Propiedades de flujo

Las propiedades de flujo de las muestras de yogur fueron evaluadas utilizando un viscosímetro rotacional (Haake viscotester, Thermo Scientific, Walthman, USA) con sensor MV-DIM. Las determinaciones se realizaron a 10°C en corridas ascendentes (de 0.08 a 12.2 s^{-1}) y descendentes (de 12.2 a 0.08 s^{-1}). Las curvas de flujo fueron ajustadas a un modelo de ley de potencia ($\sigma = K\gamma^n$), donde *K* representa el índice de consistencia ($Pa \cdot s^n$) y *n* el índice de flujo.

4.2.4.6. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) de las muestras se determinó durante el tiempo de vida útil, los días 1, 14 y 21, según la metodología propuesta por Isanga y Zhang (2009) con ligeras modificaciones. Las muestras (~50 g) fueron centrifugadas a 3000 rpm durante 20 minutos utilizando una centrífuga (Thermo, IEC, Centra CL2). La CRA fue calculada como una relación porcentual entre el peso del suero liberado tras la centrifugación y el peso de la muestra de yogur, utilizando la siguiente fórmula:

$$CRA(\%) = \left(1 - \frac{Peso\ del\ suero}{Peso\ de\ la\ muestra}\right) \times 100$$

4.2.4.7. Color

El color de las muestras durante el almacenamiento refrigerado se determinó los días 1, 14 y 21 utilizando un espectrofotómetro ColorQuest® (ColorQuest XE Hunterlab, Minolta Reston USA) con iluminante patrón D65 y observador de 10°. El equipo fue previamente calibrado mediante trampa de luz y placa blanco absoluto suministrados por el fabricante. Las medidas se realizaron en terminus de los valores L*, a* y b* del sistema CIELAB, L* (claridad), croma y tono *h* tomando seis puntos al azar en cada una de las muestras. Se recopilaron los datos correspondientes a cada parámetro (L*, a*, b*) y por medio de operaciones matemáticas se obtuvieron los valores de los componentes del color C* (croma) $C^* = (a^{*\ 2} + b^{*\ 2})^{1/2}$ que se refiere a la intensidad del color y hab (Tono) hab = cotan (b*/a*) que es el término usado para clasificar los colores (Giroux, St-Amant, Fustier, Chapuzet, & Britten, 2008). Adicionalmente se halló la diferencia total del color $\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$ durante el almacenamiento y la diferencia para croma ΔC se tomó como $\Delta C = C_{t=X} - C_{t=0}$ (Giroux et al., 2008). Estas determinaciones se realizaron durante el tiempo de vida útil, los días 1, 14 y 21.

4.2.4.8. Análisis de ácidos grasos

Los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) fueron obtenidos por catálisis alcalina de las muestras de grasa (~20 mg) utilizando metóxido de sodio 0,5 M en metanol, según el método descrito por Christie, Sébédio y Juanéda (2001) y Gutiérrez et. al. (2010). Los FAME fueron analizados utilizando un cromatógrafo de gases Agilent 7890A (Agilent, Santa Clara, CA, USA), equipado con un detector de ionización de llama (FID). Las condiciones de análisis fueron las siguientes: Helio (1.5 mL/min) fue utilizado como gas de arrastre. Las temperaturas del inyector y detector se fijaron en 260 y 270ºC, respectivamente. La temperatura del horno fue inicialmente 60ºC, luego se incrementó a 120ºC a razón de 8ºC/min y luego a 240°C a razón de 1.5ºC/min. Las muestras (1.0µL) fueron inyectadas en una columna capilar HP-88 (100 m x 0,25 mm x 0,20 µm; Agilent Technologies, Inc.) utilizando un split de 1:20. Los ácidos grasos fueron identificados por comparación de los tiempos de retención de los picos obtenidos con los de estándares certificados (FAME MIX C4-C24, CLA FAME, Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA). Estas determinaciones se realizaron durante el tiempo de vida útil, los días 1, 14 y 21.

4.2.4.9. Estabilidad oxidativa

La estabilidad oxidativa de las muestras se evaluó durante el tiempo de vida útil, los días 1, 14 y 21, mediante análisis de hidroperóxidos, según el método propuesto por Chee et al. (2005). Para este análisis se tomaron 0,3 g de la muestra a los cuales se le adicionó 1,5 mL de isooctano/2-propanol (3:1 v/v). La solución resultante se agitó en vórtex durante 20 s y se llevó a centrifugación a 3200 rpm durante 2 min con el fin de separar la fase orgánica. Posteriormente se tomaron 0,2 mL de la fase orgánica y se añadieron 2,8 mL de metanol/1-butanol (2:1, v/v), seguido de 15 µl de tiocianato de amonio 3,94 M y de 15 µl de solución de hierro ferroso (preparado mezclando $BaCl_2$ 0.132 M y $FeSO_4$ 0,144 M). La absorbancia de las soluciones resultantes se midió a 510 nm usando un espectrofotómetro, tras mantenerlas 20 min en la oscuridad. Las concentraciones de hidroperóxidos se determinaron usando una curva de calibración construida a partir de hidroperóxido de cumeno (R^2=0,96).

4.2.4.10. Análisis microbiológicos

Para cada una de las muestras se evaluaron los siguientes parámetros microbiológicos: NMP Coliformes totales/g o mL, según el método NMP INVIMA No. 13; recuento de mohos y levaduras UFC/g o mL o en placa, según el método INVIMA No. 7; y recuento de bacterias ácido lácticas totales UFC/g o mL en placa, según el método INVIMA No. 10.

4.2.4.11. Análisis sensorial

Los análisis sensoriales siguientes se realizaron sobre el producto final correspondiente al tratamiento que arrojó los mejores resultados sobre los parámetros evaluados.

Evaluación con panel entrenado: Esta prueba contó con la cata de 5 panelistas entrenados expertos en bebidas lácteas pertenecientes al Departamento de Química de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, los cuales mediante una escala no estructurada de 10 puntos detectaron y reconocieron distintos parámetros de aroma, apariencia, sabor y textura con el fin de establecer el perfil sensorial de este nuevo producto. En el Anexo 1 se presenta el formato de evaluación usado para determinar el perfil sensorial del yogur.

Prueba de consumidores: Para esta prueba se contó con 70 consumidores con edades entre 18 y 60 años, en su mayoría estudiantes y profesionales, los cuales se clasificaron por edad y frecuencia de consumo. La prueba se realizó en horas de la tarde ofreciendo muestras de aproximadamente 18 mL en copas blancas de 30 mm de diámetro. Los panelistas calificaron en una escala hedónica de 5 puntos (me gusta mucho, me gusta, ni me gusta ni me disgusta, no me gusta y me disgusta mucho) parámetros de color, aroma y sabor y textura. Adicionalmente se evaluó la aceptación general del producto y decisión de compra. En el Anexo 2 se observa el formato implementado para este análisis.

4.2.4.12. Diseño experimental y análisis estadístico

La metodología experimental se desarrolló mediante un diseño factorial en tres bloques, donde cada bloque constituye una repetición. Se evaluaron dos factores: 1. Concentración de Sacha Inchi y 2. Concentración de sólidos lácteos no grasos. Del primer factor se investigaron cuatro niveles (control, “leche” de sacha inchi, 2 y 4%) y del segundo dos niveles (13.5 y 15%), obteniendo en total los siguientes ocho tratamientos:

- SIY-4-13.5: Yogur reconstituido al 13.5% con adición de sacha inchi al 4%.
- SIY-4-15: Yogur reconstituido al 15% con adición de sacha inchi al 4%.
- SIY-2-13.5: Yogur reconstituido al 13.5% con adición de sacha Inchi al 2%.
- SIY-2-15: Yogur reconstituido al 15% con adición de sacha Inchi al 2%.
- SIY-L-13.5: Yogur reconstituido al 13.5% en agua de sacha inchi.
- SIY-L-15: Yogur reconstituido al 15% en agua de sacha inchi.
- C-13.5: Yogur reconstituido al 13.5%.
- C-15: Yogur reconstituido al 15%.

La normalidad de los datos fue realizada mediante una prueba de Shapiro-Wilks, con un nivel de confianza del 95%, empleando el software MATLAB® (The Mathworks, USA).

Una prueba de Levene fue realizada para evaluar la homogenidad de varianzas en la distribución de los datos utilizando el software MATLAB® (The Mathworks, USA). Se empleó un nivel de confianza del 95%.

Se empleó un análisis de varianza de una vía como técnica de evaluación entre tratamientos independientes para cada una de las variables evaluadas en este estudio. Un nivel de confianza del 95% fue seleccionado. En caso de encontrase diferencias significativas (p<0.05), una prueba pareada de Duncan Post-hoc fue empleada para comparar cada uno de los tratamientos. El análisis de ANOVA de una vía se realizó utilizando el software MATLAB® (The Mathworks, USA).

El análisis de los datos que tuvieron seguimiento a lo largo del tiempo de almacenamiento se llevó a cabo mediante un análisis de varianza de medidas repetidas. El tiempo fue seleccionado como el factor de análisis de diferencias. Un nivel de confianza del 95% fue seleccionado. En caso de encontrase diferencias significativas (p<0.05), una prueba pareada *t*-student Post-hoc fue empleada para comparar cada uno de los tratamientos. El análisis de ANOVA de medidas repetidas se realizó utilizando el software MATLAB® (The Mathworks, USA).

El análisis global de los datos fue realizado mediante un Análisis de Componentes Principales (PCA), con el fin de reducir la dimensionalidad de los datos, manteniendo la mayor cantidad de información posible, la cual es determinada por la varianza obtenida. Con base en el análisis total de datos, se escogieron las variables que permitieron una separación de las clases (tratamientos) evaluadas, a partir de la selección de aquellas variables cuya ubicación se encontraba a mayor distancia del origen en el *loading plot* del PCA, considerando para ello los valores de los *loadings* individuales obtenidos para cada variable en el Componente Principal 1 y el Componente Principal 2. Se tuvo como objetivo la reducción de hasta 1/3 de la cantidad de variables, con el fin de eliminar aquella información redundante o poco valiosa obtenida de variables que no son representativas. Al final, un nuevo PCA fue realizado empleando únicamente las variables seleccionadas. El análisis de componentes principales se realizó utilizando el software MATLAB® (The Mathworks, USA).

5. Resultados y discusión

5.1. Elaboración de los yogures

La cinética de fermentación es un parámetro tecnológico muy importante en la formulación de un yogur, dado que es necesario lograr un balance entre la firmeza del gel en el producto final y un tiempo de fermentación comercialmente viable.

La textura semisólida característica del yogur se debe al desarrollo de una red tridimensional de proteínas lácteas generada por la disminución del pH del medio. La disolución del fosfato cálcico coloidal y la reducción de la carga neta negativa de las micelas de caseína durante el proceso de acidificación de la leche por la acción metabólica de las bacterias ácido lácticas, favorece la atracción y la agregación de las proteínas. Las proteínas desnaturalizadas del suero interactúan con las caseínas mediante enlaces covalentes y a medida que el pH desciende se forman cadenas y agrupaciones de proteínas debido a interacciones proteína-proteína, hidrofóbicas y electrostáticas que se suceden durante el proceso de fermentación, para finalmente crear la estructura típica del gel del yogur (W. J. Lee & Lucey, 2004).

Como puede apreciarse en la Figura 3, el tiempo de fermentación necesario para alcanzar un pH de ~4.6 varió entre 300 y 330 min. No se presentaron variaciones significativas (p=0,99) entre los tratamientos evaluados, lo que indica que ni la adición de almendra de sacha inchi, ni el contenido de sólidos lácteos no grasos, influyeron en la cinética de fermentación del yogur. Estos resultados concuerdan con el comportamiento reportado para yogures y bebidas lácteas enriquecidas con ácidos grasos esenciales (Chee et al., 2005; W. J. Lee & Lucey, 2004; Martín-Diana, Janer, Peláez, & Requena, 2004; Mukti Singh & Kim, 2009) y está dentro de los rangos normales de fermentación de yogures (W. J. Lee & Lucey, 2004). De otra parte, el tiempo de fermentación del yogur de sacha inchi es muy inferior al empleado en los procesos de elaboración de bebidas tipo yogur a partir de almendras (C. Lee & Beuchat, 1991; Sunny-Roberts, Otunola, & Iwakun, 2004) y soya (Rekha & Vijayalakshmi, 2008).

Aunque la reducción en el tiempo de fermentación puede ser beneficioso para reducir los costos de proceso, es importante tener en cuenta que una acidificación muy rápida puede afectar significativamente los atributos sensoriales y fisicoquímicos del yogur, pues puede inducir a la liberación temprana de caseínas de las micelas y a la formación rápida de una red de caseínas (Sah, Vasiljevic, McKechnie, & Donkor, 2016). Como resultado de esta agregación rápida de las proteínas, un menor número de enlaces proteína-proteína se forma, generando geles débiles con poros grandes y mayor susceptibilidad a la sinéresis (W. J. Lee & Lucey, 2004).

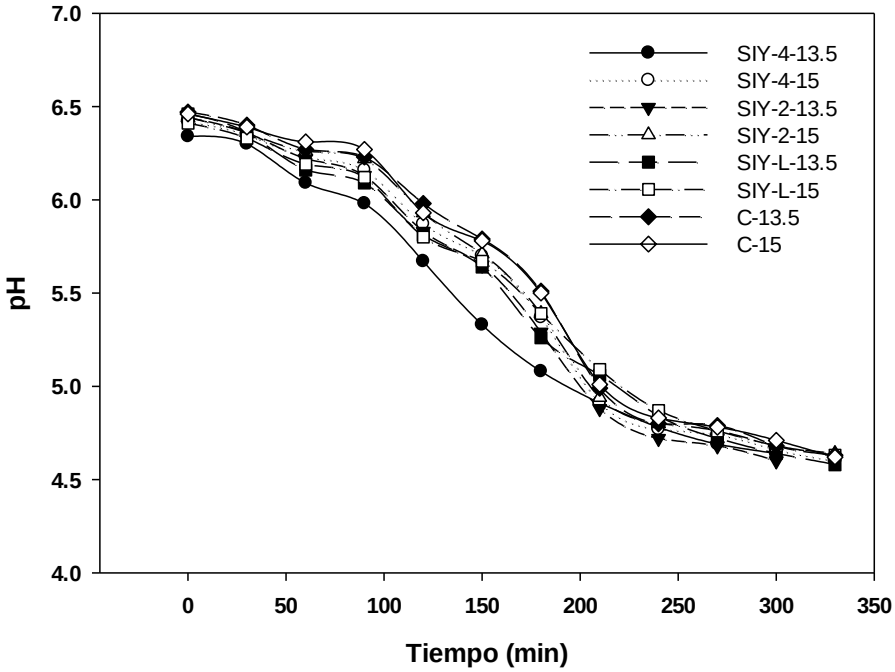

Figura 3. Cinética de fermentación de los yogures

5.2. Composición proximal de los yogures

La Tabla 4 presenta la composición proximal de los yogures elaborados. Como puede apreciarse, la composición de las muestras se vio afectada tanto por la adición de almendra de sacha inchi, como por la concentración de sólidos lácteos no grasos.

Como era de esperarse la concentración de sólidos totales fue significativamente mayor en los yogures adicionados al 4% con almendra de sacha inchi (21-22%), con respecto de los demás tratamientos, en tanto que las muestras control presentaron los valores más bajos de sólidos totales (18.5-20%). Estos valores son similares a los reportados por Isanga y Zhang (2009) para yogur de maní. Sin embargo, en comparación con la mayoría

de los yogures comerciales, cuyo contenido de sólidos totales oscila entre 14 y 15%, los yogures elaborados en este estudio presentan una cantidad superior, debido a la mayor cantidad de sólidos lácteos no grasos empleados en las diferentes formulaciones, lo cual puede resultar en mejora de las propiedades físicas como viscosidad y consistencia del coagulo en el producto final (Tamime & Robinson, 1999).

Tabla 4. Composición proximal (%) de los yogures*

Muestra	Sólidos totales	Carbohidratos totales	Cenizas	Proteína	Grasa
SIY-4-13.5	21.02 ± 0.11^{de}	13.2 ± 0.92	0.75 ± 0.01^{ab}	3.84 ± 0.03^{de}	3.94 ± 0.20^{d}
SIY-4-15	21.84 ± 0.25^{e}	13.42 ± 1.21	0.70 ± 0.14^{a}	4.37 ± 0.06^{f}	4.03 ± 0.28^{d}
SIY-2-13.5	20.04 ± 0.39^{bc}	12.58 ± 0.59	0.75 ± 0.01^{ab}	3.67 ± 0.11^{cd}	2.94 ± 0.03^{abc}
SIY-2-15	20.36 ± 0.64^{cd}	13.17 ±1.94	0.75 ± 0.01^{ab}	3.97 ± 0.13^{e}	3.47 ± 0.13^{cd}
SIY-L-13.5	19.45 ± 0.18^{b}	12.68 ± 0.22	0.73 ± 0.02^{ab}	3.43 ± 0.16^{b}	2.72 ± 0.08^{ab}
SIY-L-15	21.18 ± 0.12^{de}	13.75 ± 0.92	0.85 ± 0.02^{b}	3.77 ± 0.00^{de}	3.31 ± 0.45^{bc}
C-13.5	18.49 ± 0.01^{a}	11.90 ± 0.41	0.70 ± 0.01^{a}	3.11 ± 0.04^{a}	2.55 ± 0.15^{a}
C-15	19.88 ± 0.08^{bc}	12.71 ± 0.12	0.80 ± 0.01^{b}	3.48 ± 0.03^{bc}	2.93 ±0.01^{abc}
Valor *p*	<0.01	0.7	0.03	0.00	0.00

* Valores en columnas seguidos de la misma letra no son estadísticamente significativos (Test Duncan, nivel de confianza del 95%).

El contenido de cenizas no mostró diferencias significativas y sus valores variaron entre 0.70 y 0.85% entre los tratamientos. Estos valores concuerdan con los obtenidos en otros yogures de almendras como el de maní (0.75-0.79%) (Isanga & Zhang, 2009) y con los reportados recientemente por Dal Bello et al. (2015) (0.73-0.76%) para yogures fortificados con omega-3 de fuentes vegetales. Similarmente, la concentración de carbohidratos no presentó diferencias significativas entre los tratamientos, pese a que se nota una tendencia decreciente en su cantidad a medida que el nivel de adición de sacha inchi disminuye. La concentración de carbohidratos totales varió entre 11.9 y 13.4%, correspondiendo el valor más bajo al tratamiento C-13.5 y el más alto al SIY-4-15, lo cual es concordante con las formulaciones utilizadas. Valores más bajos han sido reportados para bebidas de almendras fermentadas tipo yogur y para yogures fortificados con omega-3 de fuentes vegetales (Dal Bello et al., 2015; Isanga & Zhang, 2009; Sunny-Roberts et al., 2004).

La adición de almendra de sacha incrementó significativamente (p<0.05) la concentración de proteína, lo cual le otorga a los yogures elaborados un importante valor nutricional, teniendo en cuenta que el sacha inchi posee todos los aminoácidos esenciales en cantidades adecuadas respecto a los requerimientos establecidos por la FAO, excepto en lisina (Hamaker et al., 1992). El contenido de proteína también se vio afectado significativamente por la concentración de sólidos lácteos no grasos (p<0.05) y varió entre 3.11 y 4.37. El valor más bajo se obtuvo en el tratamiento C-13.5 y el más alto en SIY-4-15, lo cual concuerda muy bien con las formulaciones evaluadas. Los valores obtenidos en este trabajo son ligeramente superiores a los reportados recientemente para yogures fortificados con ácidos grasos esenciales provenientes de fuentes vegetales (3.3-3.6%) (Dal Bello et al., 2015), pero son un poco menores que los reportados por Isanga y Zhang (2009) para yogur de maní (5.17±0.26%).

En cuanto al contenido de materia grasa se observó un efecto significativo dado por la concentración de almendra de sacha inchi (p<0.05), pero no por la concentración de sólidos lácteos no grasos. La concentración de grasa fue significativamente mayor en los yogures SIY-4-15 y SIY-4-13.5 (~4.0%), con respecto de los demás tratamientos, mientras que los valores más bajos se obtuvieron para los yogures control sin adición de sacha inchi (~2.7%). Los valores de contenido de grasa de los yogures formulados con adición de almendra de sacha inchi (al 2 y al 4%) son similares a los reportados recientemente para yogur helado fortificado con omega-3 (3.6-3.9%) (Mahrous & Salam, 2014), más altos que la mayoría de los yogures comercializados en Colombia, los cuales oscilan entre 1.6 y 3.5% (Gutierrez et al., 2010), que los yogures fortificados con ácidos grasos esenciales provenientes de fuentes vegetales (2.0-3.2%) (Dal Bello et al., 2015), marinas (2.0±0.2%) (J. D. Estrada et al., 2011) y de aceites de algas (3.2-4.0 *vs.* 2.15-2.39%) (Chee et al., 2005). Sin embargo, son ligeramente más bajos que los reportados para yogures de maní (5.84±0.19%) (Isanga & Zhang, 2009) y para bebidas fermentadas de almendras tipo yogur (4.74±0.04%) (Sunny-Roberts et al., 2004).

5.3. Variación del pH y de la acidez de los yogures durante el tiempo de vida útil

La actividad metabólica de los microorganismos iniciadores y probióticos continúa durante el almacenamiento refrigerado de productos lácteos fermentados como el yogur y conduce generalmente a descensos en los valores pH y a incrementos en la acidez

titulable del producto. Este comportamiento, conocido normalmente como post-acidificación se presenta para las muestras investigadas en este estudio en la Tabla 5.

Tabla 5. Post-acidificación (pH) y acidez titulable de los yogures durante almacenamiento refrigerado (4-6ºC)*

Muestra	pH			Acidez (% Ácido láctico)		
	Día 1	Día 14	Día 21	Día 1	Día 14	Día 21
SIY-4-13.5	4.60±0.02^{c}	4.31±0.02^{b}	4.10±0.09^{a}	0.71±0.00^{a}	0.87±0.02^{b}	0.91±0.01^{cAB}
SIY-4-15	4.62±0.06^{c}	4.34±0.03^{b}	4.20±0.09^{a}	0.75±0.05^{a}	0.95±0.04^{b}	0.96±0.02^{cB}
SIY-2-13.5	4.52±0.07^{c}	4.33±0.03^{b}	4.17±0.06^{a}	0.74±0.04^{a}	0.89±0.02^{b}	0.91±0.04^{cAB}
SIY-2-15	4.60±0.06^{c}	4.36±0.03^{b}	4.24±0.05^{a}	0.75±0.05^{a}	0.93±0.03^{b}	0.97±0.06^{bB}
SIY-L-13.5	4.58±0.03^{b}	4.26±0.06^{a}	4.17±0.11^{a}	0.71±0.01^{a}	0.88±0.04^{b}	0.90±0.04^{bAB}
SIY-L-15	4.65±0.03^{b}	4.35±0.05^{a}	4.22±0.11^{a}	0.75±0.01^{a}	0.94±0.03^{b}	0.99±0.04^{bB}
C-13.5	4.62± 0.01^{b}	4.31±0.06^{a}	4.21±0.12^{a}	0.71±0.04^{a}	0.84±0.04^{b}	0.84±0.06^{bA}
C-15	4.63±0.02^{b}	4.34±0.12^{a}	4.23±0.10^{a}	0.74±0.02^{a}	0.88±0.05^{b}	0.89±0.03^{bAB}

* Valores en filas seguidos de la misma letra minúscula son estadísticamente significativos (Test Duncan, nivel de confianza del 95%).

Como puede apreciarse en la tabla anterior, los valores iniciales de pH y de acidez no fueron afectados significativamente (p>0.5) por la adición de almendra de sacha inchi, similar a lo encontrado en estudios anteriores de yogures enriquecidos con aceite microencapsulado de salmón (J. D. Estrada et al., 2011).

Los valores de pH de las muestras de yogur presentaron un descenso significativo durante los 21 días de almacenamiento refrigerado a 4-6ºC, pasando de aproximadamente 4.6 a cerca de 4.2 (p<0.5). Este comportamiento es debido a la actividad postacidificatoria de los microorganismos iniciadores y resultados similares fueron reportados recientemente para yogures enriquecidos con aceite de pescado microencapsulado (Tamjidi et al., 2012) y fortificados con fibra (Sah et al., 2016) y vitaminas (Cueva & Aryana, 2008).

Teniendo en cuenta que la acidez es inversamente proporcional al pH, puede apreciarse en la Tabla 5 que la acidez de las muestras incrementó significativamente durante el almacenamiento refrigerado, pasando de aproximadamente 0.70 a 0.95% luego de 21 días. Estos valores son considerados como normales en este tipo de producto, concordando con los reportados en estudios anteriores (Jiménez, Morales, & Ruiz, 2004). Es interesante notar que en todos los tratamientos, los valores de acidez de las muestras

reconstituidas al 15% con leche en polvo entera son ligeramente mayores que los de las muestras reconstituidas al 13.5%, lo cual podría explicarse por un mayor contenido de lactosa en las primeras. Adicionalmente, los yogures control presentaron durante el tiempo de almacenamiento refrigerado valores de acidez menores que las muestras adicionadas con sacha inchi, siendo la acidez de la muestra C-13.5 significativamente menor (p<0.05) que la del resto de los tratamientos evaluados en este trabajo.

5.4. Variación de los parámetros de textura de los yogures durante el tiempo de vida útil

La determinación de los parámetros de textura de alimentos bajo condiciones de deformación grandes, es importante para simular lo que ocurre con ellos en la boca o durante el procesamiento (Hickisch, Beer, Vogel, & Toelstede, 2016). La firmeza, consistencia y cohesividad son parámetros comúnmente evaluados para determinar la textura del yogur (Buriti, Freitas, Egito, & dos Santos, 2014). La firmeza indica la fuerza requerida para romper la estructura formada, la consistencia hace referencia a la resistencia del yogur a cambiar de forma y la cohesividad se refiere a la medida en la que el yogur puede deformarse antes de que se rompa su estructura (do Espírito Santo, Perego, Converti, & Oliveira, 2012). Varios factores influyen en la formación de la estructura del gel del yogur, como la composición de la leche, el tratamiento térmico aplicado, el tipo de cultivo iniciador utilizado, el proceso de fermentación y las condiciones de fermentación (Akalın, Unal, Dinkci, & Hayaloglu, 2012).

Los parámetros instrumentales de textura de los yogures elaborados en este trabajo se presentan en la Tabla 6. Como puede apreciarse, la firmeza, consistencia y cohesividad de las muestras no presentaron cambios significativos durante los 21 días de almacenamiento refrigerado (p>0.05), indicando que ni la adición de almendra de sacha inchi, ni el contenido de sólidos lácteos no grasos modifica los parámetros de textura con respecto de las muestras control. Los valores de firmeza de los yogures variaron entre 12.88 y 17.94 g_f, mientras que los de consistencia y cohesividad fluctuaron entre 242 y 350 $g_f \times s$ y -7.8 y 12.8 g_f, respectivamente. Pese a que las variaciones no fueron estadísticamente significativas, es importante anotar que durante el tiempo de almacenamiento refrigerado, tanto la firmeza como la consistencia de las muestras de yogur presentan un ligero incremento, mientras que la cohesividad presenta una

Tabla 6. Parámetros instrumentales de textura de los yogures

	Día	SIY-4-13.5	SIY-4-15	SIY-2-13.5	SIY-2-15	SIY-L-13.5	SIY-L-15	C-13.5	C-15
Firmeza (g_f)	1	14.65 ± 1.85	14.12 ± 1.09	14.72 ± 1.01	15.02 ± 1.86	12.88 ± 0.12	13.93 ± 0.73	15.83 ± 2.62	15.16 ± 1.00
	14	14.61 ± 1.17	15.51 ± 1.05	15.63 ± 0.41	17.94 ± 2.24	13.80 ± 0.70	14.63 ± 1.17	14.77 ± 1.12	16.78 ± 2.84
	21	15.29 ± 1.60	16.05 ± 2.38	15.05 ± 0.33	15.77 ± 1.04	14.20 ± 1.60	15.96 ± 2.18	15.14 ± 1.42	16.37 ± 1.77
Consistencia (g_f×s)	1	268.14 ± 116.13	273.30 ± 52.38	291.28 ± 55.84	301.22 ± 79.05	241.93 ± 31.75	269.56 ± 54.93	279.88 ± 30.92	311.80 ± 60.58
	14	287.71 ± 24.98	309.15 ± 61.98	314.98 ± 44.68	349.35 ± 88.94	270.36 ± 21.13	280.13 ± 48.71	299.64 ± 47.14	346.26 ± 110.95
	21	312.09 ± 65.46	340.68 ± 69.31	309.98 ± 46.22	321.67 ± 64.12	267.22 ± 24.89	330.13 ± 50.02	305.31 ± 58.49	337.34 ± 90.17
Cohesividad (g)	1	-7.82 ± 1.86	-10.63 ± 1.00	-10.75 ± 0.16	-10.96 ± 2.27	-8.89 ± 0.13	-9.38 ± 1.58	-10.17 ± 1.33	-11.09 ± 1.01
	14	-10.13 ± 0.87	-11.46 ± 1.53	-11.49 ± 0.33	-12.43 ± 2.28	-9.85 ± 0.42	-9.89 ± 1.12	-10.96 ± 1.11	-12.38 ± 2.22
	21	-12.84 ± 2.13	- 11.97 ± 2.30	-10.90 ± 0.34	-12.02 ± 0.97	-9.86 ± 1.41	-11.76 ± 2.56	-10.58 ± 1.54	-12.06 ± 1.77

tendencia a disminuir. Valores y tendencias similares fueron reportadas recientemente para yogures de pulpas de frutas tropicales (Buriti et al., 2014).

5.5. Propiedades de flujo

Las propiedades de flujo de las muestras de yogur fueron evaluadas mediante viscosimetría rotacional. Todos los yogures presentaron un comportamiento pseudoplástico, con índices de flujo que variaron entre 0.33 y 0.38, sin encontrarse diferencias significativas (p>0.05) entre los tratamientos. Valores similares fueron obtenidos recientemente para kumis comerciales de Colombia (Osorio et al., 2011). Los índices de consistencia variaron entre 5.12 y 8.36 $Pa{\cdot}s^n$, siendo ligeramente superiores a los de productos comerciales similares en Colombia (Osorio et al., 2011), lo cual puede explicarse por el mayor contenido de sólidos lácteos no grasos de las muestras evaluadas en este trabajo.

La Figura 4 presenta un ejemplo de la variación de la viscosidad aparente (η) en función de la velocidad de cizallamiento (γ). La viscosidad aparente de los yogures disminuyó con el incremento de la velocidad de cizallamiento. Pese a que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, la viscosidad aparente de los yogures reconstituidos al 15% con leche en polvo fue siempre ligeramente mayor que la de las muestras reconstituidos al 13.5%.

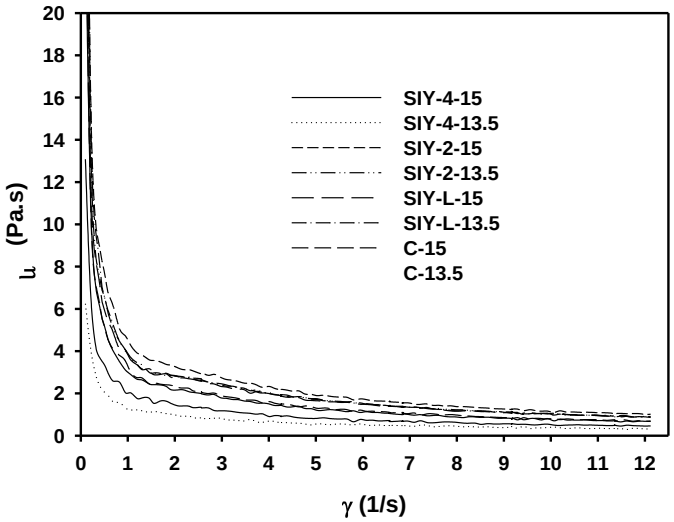

Figura 4. Viscosidad aparente de los yogures en función de la velocidad de cizallamiento

5.6. Capacidad de retención de agua

Cuando la red tridimensional de las proteínas del yogur se vuelve más fuerte, se pierde la capacidad para retener el suero, el cual es liberado del gel y observado en la superficie del producto, lo cual se conoce normalmente como sinéresis. El proceso de separación del suero también está asociado con otros factores como la desnaturalización de las proteínas, valores bajos de pH, alta acidez y el tipo e intensidad del tratamiento térmico (W. J. Lee & Lucey, 2004). Una manera de evaluar la sinéresis en leches fermentadas como el yogur es medir su capacidad de retención de agua en condiciones aceleradas mediante centrifugación. La Tabla 6 presenta los valores de capacidad de retención de agua de los yogures elaborados, durante el tiempo de almacenamiento refrigerado. Los valores variaron entre 12 y 20%, sin encontrarse diferencias significativas entre los diferentes tratamientos durante el tiempo de almacenamiento, debido a una dispersión alta de los datos. Los valores encontrados en este estudio fueron similares fueron reportados recientemente por Pelaes Vital et al. (2015) para yogures bajos en grasa suplementados con extractos acuosos de hongos, pero más bajos que los hallados para yogures de leche cabra (Gomes et al., 2013) y para bebidas fermentadas de almendras tipo yogur (Isanga & Zhang, 2009), las cuales fueron de alrededor 45%.

Tabla 7. Capacidad de retención de agua de los yogures durante el tiempo de almacenamiento refrigerado

Muestra	Día 1	Día 14	Día 21
SIY-4-13.5	12.26 ± 5.21	15.21 ± 7.73	13.85 ± 6.20
SIY-4-15	12.48 ± 3.08	9.99 ± 4.73	12.48 ± 8.06
SIY-2-13.5	10.67 ± 7.73	15.10 ± 5.79	19.99 ± 11.86
SIY-2-15	17.26 ± 3.79	18.39 ± 1.15	13.17 ± 6.01
SIY-L-13.5	14.99 ± 5.21	10.90 ± 3.52	15.77 ± 2.37
SIY-L-15	12.03 ± 7.31	11.13 ± 3.29	12.04 ± 6.58
C-13.5	16.80 ± 2.52	20.21 ± 4.34	18.84 ±6.58
C-15	17.26 ± 4.07	19.53 ± 6.41	12.72 ± 1.68

5.7. Parámetros de color

Los valores de las coordenadas de color, así como de tono (*hab*) y croma (C*) se muestran en la Tabla 8, donde se evidencia que el tiempo de almacenamiento en refrigeración no presentó diferencias significativas sobre los parámetros analizados.

Teniendo en cuenta que L* (0-100) representan negro al blanco, a* (-100 a 100) verde a rojo y b* (-100 a 100) azul a amarillo, se encontró que la concentración de sacha inchi mostró un efecto significativo para las variable L*, a*, b* y C*. Los valores de L* (luminosidad) fueron significativamente mayores en las muestras control (>93) frente a tratamientos con incorporación de sacha inchi al 4% (87.2) ($p<0.05$) lo cual se debe a que los trozos de sacha inchi presentan un carácter no reflejante (cuerpo opaco) (Díaz Jiménez, 2004). Sin embargo, la percepción general de los tratamientos estimados se muestra como brillante para el ojo humano (L > 70) (Macedo y Ramírez & Vélez-Ruíz, 2015). Resultados similares se han observado al incluir fuentes de fibra en yogur donde se presentó una relación inversa entre el nivel de enriquecimiento y los valores de luminosidad (Cueva & Aryana, 2008; Díaz Jiménez, 2004).

El parámetro a* mostró una tendencia hacia los rojos (valores positivos) para las muestras con presencia de sacha inchi y hacia los verdes (valores negativos) para los tratamientos control y elaborados a partir de agua de sacha inchi.

El parámetro b* mostró un comportamiento más homogéneo con tendencia al amarillo (valores positivos), teniendo que los yogures elaborados a partir de agua de sacha inchi presentaron valores más altos y mostraron diferencias significativas frente a tratamiento SIY4-13.5. Como se mencionó anteriormente, tanto el parámetro a* como el b* no mostraron diferencias durante el tiempo de almacenamiento en refrigeración, indicando estabilidad del color durante la vida útil del producto (Díaz Jiménez, 2004; J. Estrada, C. Boeneke, P. Bechtel, & S. Sathivel, 2011). Estos resultados muestran un comportamiento diferenciado frente a distintos estudios donde se reportan valores de 82.5, 11.4 y 7.7 para L, a* y b*, respectivamente, para un yogures saborizados enriquecidos con aceite de pescado (J. D. Estrada et al., 2011) y 70.72, -2.28 y 7.69, respectivamente para para yogures enriquecidos con microencapsulados de ácidos grasos omega 3 (Macedo y Ramírez & Vélez-Ruíz, 2015). Las muestras investigadas en este trabajo presentan valores instrumentales de color similares a yogures enriquecidos con microencapsulados de aceite de pescado 90.62, -1.69 y 14.81 para L, a* y b* (Tamjidi et al., 2012).

Tabla 8. Parámetros de color de las muestras de yogur durante almacenamiento refrigerado

	Día	SIY-4-13.5	SIY-4-15	SIY-2-13.5	SIY-2-15	SIY-L-13.5	SIY-L-15	C-13.5	C-15
L*	1	87.18 ± 2.72	87.21 ± 0.26	89.51 ± 1.09	88.61 ± 0.46	91.27 ± 0.86	90.24 ± 0.48	93.83 ± 0.24	93.94 ± 0.34
	14	86.71 ± 1.92	86.87 ± 1.70	88.52 ± 0.77	88.31 ± 0.75	90.50 ± 0.65	90. 36± 0.35	93.83 ± 0.23	93.01 ± 0.24
	21	85.52 ± 0.92^{a}	86.73 ± 1.05^{ab}	89.33 ± 1.37 ^{bc}	89.01 ± 1.08 ^{bc}	91.71 ± 0.93 ^{cde}	91.15 ± 1.35 ^{cd}	93.72 ± 0.18 ^{de}	93.99 ± 0.13 ^{e}
a*	1	1.05 ± 0.64	1.13 ± 0.31	0.31 ± 0.58	0.70 ± 0.13	-0.06 ± 0.46	0.46 ± 0.58	- 1.45 ± 0.17	-1.36 ± 0.06
	14	0.95 ± 0.75	0.97 ± 0.78	0.48 ± 0.61	0.84 ± 0.18	0.09 ± 0.44	0.59 ± 0.61	-1.5 ± 0.02	-1.40 ± 0.12
	21	1.66 ± 0.34^{d}	0.39 ± 0.38cd	0.59 ± 0.38^{bc}	0.86 ± 0.35^{bcd}	0.04 ± 0.23^{b}	0.39 ± 0.38^{b}	-1.35 ± 0.17^{a}	-1.28 ± 0.18^{a}
b*	1	12.38 ± 0.45	12.60 ± 1.50	12.64 ± 0.19	12.25 ± 0.33	13.91 ± 0.24	13.86 ± 0.51	12.74 ± 0.48	13.22 ± 0.43
	14	12.14 ± 0.48	11.94 ± 0.76	11.74 ± 1.54	11.96 ± 0.93	13.19 ± 0.60	13.59 ± 0.31	12.79 ± 0.40	13.22 ± 0.17
	21	11.33 ± 1.67^{a}	11.93 ± 0.90^{ab}	11.96 ± 0.23^{ab}	12.15 ± 0.30^{ab}	13.98 ± 0.38^{b}	13.77 ± 0.44^{b}	12.71 ± 0.41^{ab}	12.91± 0.16^{ab}
C	1	12.44 ± 0.46	12.65 ± 1.52	12.66 ± 0.18	12.27 ± 0.33	13.92 ± 0.24	13.86 ± 0.50	12.82 ± 0.49	13.29 ± 0.42
	14	12.19 ± 0.53	12.00 ± 0.80	11.76 ± 1.56	11.99 ± 0.94	13.19 ± 0.60	13.60 ± 0.32	12.88± 0.40	13.30 ± 0.16
	21	11.45 ± 1.66^{a}	12.02 ± 0.91^{ab}	11.97 ± 0.22^{ab}	12.18 ± 0.27^{ab}	13.99 ± 0.38^{c}	13.78 ± 0.44^{c}	12.78± 0.41^{bc}	12.97 ± 0.16^{bc}
hab	1	-0.49 ± 1.66	0.79 ± 1.27	98.40 ± 171.39	-0.58 ± 0.32	-4.43 ± 9.20	-0.38 ± 2.22	-1.02 ± 3.88	-0.02 ± 2.35
	14	-0.87 ± 1.88	0.07 ± 0.40	0.40 ± 1.13	-3.75 ± 6.96	0.24 ± 0.86	0.19± 4.62	0.68 ± 0.33	-1.13 ± 2.05
	21	0.39 ± 4.12	1.62 ± 0.65	0.47 ± 0.69	-0.49 ± 0.46	0.71 ± 3.02	-0.03± 5.59	1.10± 1.08	0.34 ± 0.97

* Valores en filas seguidos de la misma letra son estadísticamente significativos (Test Duncan, nivel de confianza del 95%).

Los valores de croma (C*) indican la intensidad de color. Se evidencia en la Tabla 8 que las muestras elaboradas a partir de agua de sacha inchi mostraron valores más altos frente a muestras en las que se incorporó trozos de sacha inchi, debido a que el "extracto" acuoso de la almendra contiene pigmentos propios de la semilla tostada.

Los valores de hab, que indican el tono de las muestras se mantuvieron en un rango entre rojo y amarillo. (0°=rojo, 90º=amarillo; 180º=verde y 270º=azul), alejándose del color blanco amarillento (h ≈100) característico del yogur natural. Para este parámetro no se encontraron diferencias significativas relacionadas con los tratamientos y con el tiempo de almacenamiento en refrigeración.

La Figura 5 presenta los cambios netos de color (ΔE) y de croma (ΔC) durante el tiempo de almacenamiento refrigerado. Como se aprecia en la Figura 5a, todas las muestras presentaron un cambio neto de color en el tiempo, que fue más bajo para las muestras control y variable para las muestras adicionadas con sacha inchi. Sin embargo, solo en el tratamiento SIY4-13.5 este cambio de color sería perceptible para el ojo humano (valores mayores a 3.8) (Martín-Diana et al., 2004), aunque se ha reportado que cambios del gusto podrían ser percibidos a valores de 0,69 (Giroux et al., 2008). En lo que respecta al cambio de croma, solo se presentaron cambios mínimos entre las muestras durante el almacenamiento, como se evidencia en la Figura 5b.

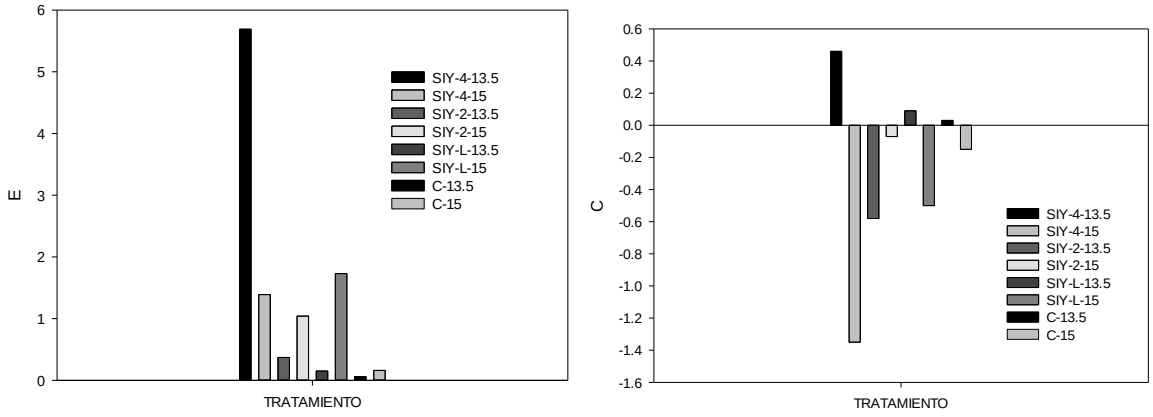

Figura 5. (a) Cambio neto color (ΔE) y de croma (ΔC) de las muestras de yogur durante almacenamiento refrigerado (Día 1 al 21)

5.8. Perfil de ácidos grasos

La Tabla 9 presenta la composición promedio de ácidos grasos de las muestras de yogur durante el tiempo de almacenamiento refrigerado. Como era de esperarse, la adición de sacha inchi modificó significativamente el perfil de ácidos grasos de las muestras. El contenido total de ácidos grasos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFA) y poliinsaturados (PUFA) tuvo un comportamiento dependiente de la concentración de sacha inchi en los yogures y de la cantidad de leche en polvo entera utilizada para su elaboración. Las muestras control presentaron contenidos de SFA y MUFA significativamente mayores que las muestras de yogures con sacha inchi, mientras que la concentración total de PUFA fue significativamente menor. Con respecto de los yogures control, la concentración de SFA se redujo en aproximadamente 20% al adicionar sacha inchi al 4%, mientras que el contenido de PUFA se incrementó en un 30%. Esta composición única en ácidos grasos, le otorga a los yogures de sacha inchi un excelente valor nutriucional.

Los principales SFA presentes en las muestras fueron el palmítico (C16:0, que varió entre 19 y 28%), esteárico (C18:0, que varió entre 11 y 16%) y mirístico (C14:0, que varió entre 6 y 10%). Estos valores están dentro del rango encontrado recientemente para yogures comerciales de Colombia (Gutierrez et al., 2010). Otros SFA encontrados en menor proporción fueron los ácidos láurico (C12:0), cáprico (C10:0), caprílico (C8:0), caproico (C6:0), butírico (C4:0), margárico (C17:0) y pentadecanoico (C15:0).

La concentración promedio total de MUFA varió entre 23.3 y 33.3%, correspondiendo los valores menores a las muestras con mayor adición de sacha inchi y los mayores a las muestras de yogures control, debido a la baja concentración de MUFA de la almendra de sacha inchi (aproximadamente 9% de ácido oleico) (Gutiérrez et al., 2011). El ácido oleico (C18:1n9c) fue el principal MUFA encontrado en las muestras, cuyos valores variaron entre entre 19 y 26%. Otros MUFA encontrados en cantidades menores fueron los ácidos elaídico (C18:1n9t, que varió entre 2.4 y 4.2%), miristoleico (C14:1, que varió entre 0.9 y 1.4%) y palmitoleico (C16:1, que varió entre 0.7 y 1.1%).

Con respecto a la concentración de PUFA, es importante notar el incremento significativo que produjo la adición de sacha inchi en las muestras. La concentración total de PUFA pasó de 3.6% en los yogures control, a 35% en los yogures elaborados con 4% de sacha inchi, debido a la alta concentración de PUFA en la almendra. Los principales PUFA de

Tabla 9. Concentración promedio FAMEs presentes en los yogures durante almacenamiento refrigerado*

Ácido graso	SIY4-13.5	SIY4-15	SIY2-13.5	SIY2-15	SIYL-13.5	SIYL-15	C-13.5	C-15
C4:0	1.0 ± 0.18	1.0 ± 0.24	1.3 ± 0.21	1.2 ± 0.17	1.5 ± 0.30	1.5 ± 0.26	1.5 ± 0.42	1.5 ± 0.23
C6:0	0.9 ± 0.08^{a}	1.0 ± 0.11^{ab}	1.0 ± 0.40^{abc}	1.2 ± 0.14^{bc}	1.3 ± 0.12^{c}	1.3 ± 0.09^{c}	1.5 ± 0.12^{d}	1.5 ± 0.12^{d}
C8:0	0.4 ± 0.06^{a}	0.4 ± 0.06^{ab}	0.5 ± 0.03^{bc}	0.5 ± 0.03^{bc}	0.6 ± 0.07^{cd}	0.6 ± 0.08^{de}	0.7 ± 0.06^{e}	0.7 ± 0.07^{e}
C10:0	1.1 ± 0.08^{a}	1.1 ± 0.09^{ab}	1.3 ± 0.04^{bc}	1.3 ± 0.04^{cd}	1.5 ± 0.14^{de}	1.5 ± 0.11^{cd}	1.7 ± 0.06^{e}	1.7 ± 0.10^{e}
C12:0	1.4 ± 0.07^{ab}	1.5 ± 0.13^{a}	1.8 ± 0.06^{bc}	1.8 ± 0.05^{cd}	2.1 ± 0.14^{e}	2.0 ± 0.11^{de}	2.4 ± 0.08^{f}	2.4 ± 0.12^{f}
C14:0	6.0 ± 0.31^{a}	6.3 ± 0.31^{a}	7.2 ± 0.21^{b}	7.5 ± 0.36^{b}	8.5 ± 0.53^{c}	8.5 ± 0.41^{c}	9.8 ± 0.13^{d}	9.8 ± 0.15^{d}
C14:1	0.9 ± 0.06^{a}	0.9 ± 0.07^{a}	1.0 ± 0.04^{b}	1.1 ± 0.03^{b}	1.2 ± 0.11^{c}	1.2 ± 0.09^{c}	1.4 ± 0.06^{d}	1.4 ± 0.06^{d}
C15:0	0.8 ± 0.03 a	0.8 ± 0.04 a	0.9 ± 0.03 b	0.9 ± 0.05 b	1.0 ± 0.08 c	1.1 ± 0.05 c	1.2 ± 0.01 d	1.2 ± 0.05^{d}
C16:0	18.6 ± 0.62^{a}	19.4 ± 0.71^{a}	21.7 ± 0.52^{b}	22.3 ± 0.95^{b}	24.5 ± 1.25^{c}	24.7 ± 0.89^{c}	27.7 ± 0.39^{d}	27.6 ± 0.38^{d}
C16:1	0.7 ± 0.04^{ab}	0.7 ± 0.06^{a}	0.9 ± 0.03^{bc}	0.9 ± 0.04^{c}	1.0 ± 0.06^{d}	1.0 ± 0.05^{d}	1.1 ± 0.03^{d}	1.1 ± 0.04^{d}
c17:0	0.4 ± 0.02 ab	0.4 ± 0.02 a	0.5 ± 0.02bc	0.5 ± 0.01 c	0.5 ± 0.04 d	0.5 ± 0.04 d	0.6 ± 0.01 e	0.6 ± 0.02^{e}
c17:1	0.2 ± 0.07	0.3 ± 0.16	0.2 ± 0.04	0.3 ± 0.12	0.3 ± 0.08	0.3 ± 0.23	0.3 ± 0.09	0.3 ± 0.09
C18:0	10.7 ± 0.45^{a}	11.3 ± 0.46^{a}	12.6 ± 0.31^{b}	13.0 ± 0.68^{b}	14.2 ± 0.77^{c}	14.4 ± 0.42^{c}	16.1 ± 0.23^{d}	16.1 ± 0.28^{d}
c18:1n9t	2.4 ± 0.57^{abc}	2.4 ± 0.49^{ab}	2.5 ± 0.49^{a}	2.6 ± 0.39^{abc}	3.6 ± 0.45^{abc}	3.2 ± 0.80^{bc}	3.9 ± 0.79^{c}	4.2 ± 0.69^{bc}
c18:1n9c	19.1 ± 0.75^{ab}	19.7 ± 0.89^{a}	21.6 ± 0.78^{bc}	21.7 ± 0.27^{c}	23.9 ± 0.75^{d}	24.3 ± 0.56^{d}	25.5 ± 2.14^{e}	26.3 ± 0.49^{e}
c18:2n6	14.7 ± 1.20^{d}	13.5 ± 1.23^{d}	10.3 ± 0.70^{c}	9.6 ± 0.91^{c}	5.9 ± 1.76^{b}	5.7 ± 1.44^{b}	1.4 ± 0.20^{a}	1.4 ± 0.19^{a}
c18:3n3	19.5 ± 1.83^{d}	18.1 ± 1.71^{d}	13.3 ± 1.12^{c}	12.3 ± 1.45^{c}	6.9 ± 2.34^{b}	6.6 ± 1.91^{b}	0.5 ± 0.02^{a}	0.7 ± 0.41^{a}
c9t11-CLA	1.1 ±0.10^{ab}	1.1 ± 0.11^{a}	1.3 ± 0.05^{bc}	1.3 ± 0.13^{bc}	1.5 ± 0.16^{bcd}	1.5 ± 0.12^{cde}	1.6 ± 0.11^{e}	1.6 ± 0.11^{de}
SFA	41.4^{a}	43.2^{a}	48.8^{b}	50.2^{b}	55.6^{c}	56.1^{c}	63.2^{d}	63.1^{d}
MUFA	23.3^{a}	24.0^{a}	26.2^{b}	26.5^{b}	30.0^{c}	30.0^{c}	32.2^{d}	33.3^{d}
PUFA	35.3^{a}	32.8^{a}	24.9^{b}	23.3^{b}	14.3^{c}	13.9^{c}	3.6^{d}	3.7^{d}
ω3/ω6	1.2^{a}	1.2^{a}	1.1^{a}	1.1^{a}	0.9^{b}	0.9^{b}	0.2^{c}	0.2$_{c}$
IA	0.8^{a}	0.8^{a}	1.0^{b}	1.1^{b}	1.4^{c}	1.4^{c}	1.9^{d}	1.9^{d}

* Valores en filas seguidos de la misma letra son estadísticamente significativos (Test Duncan, nivel de confianza del 95%).

las muestras de yogur fueron los ácidos alfa-linolénico (C18:3n3, que varió entre 19.5 y 0.7%), linoleico (C18:2n6, que varió entre 14.7 y 1.4%) y el isómero del ácido linoleico conjugado (CLA, C18:2c9,t11, que varió entre 1.1 y 1.6%). Con respecto de los yogures control, la concentración de ácido oleico se incrementó en cerca del 13%, lo que corresponde a un contenido 10 veces mayor de este ácido graso esencial en las muestras de yogur de sacha inchi al 4%. El incremento en la concentración de ácido oleico encontrado en este trabajo, es similar al reportado por Isanga y Zhang (2009) para bebidas fermentadas de almendra tipo yogur, pero mucho mayor al obtenido por do Espirito Santo et al. (2010) quienes evaluaron la pulpa de açaí como ingrediente para mejorar el perfil de ácidos grasos de yogures con probióticos.

Con respecto al contenido de ácido alfa-linoleico, los valores encontrados en los yogures elaborados con la inclusión de aceite de sacha inchi (que variaron entre 19.5 y 12.3%), son mucho más altos que los reportados en la literatura para yogures enriquecidos con omega-3 de fuentes vegetales (Dal Bello et al., 2015; Luna et al., 2004; Nielsen, Debnath, & Jacobsen, 2007) y de fuentes de origen marino (J. D. Estrada et al., 2011; Mahrous & Salam, 2014; Nielsen et al., 2007; Tamjidi et al., 2012). Con respecto de los yogures control, la concentración de ácido alfa-linoleico se incrementó en cerca de 19%, lo que corresponde a un contenido 28 veces mayor de este ácido graso esencial en las muestras de yogur de sacha inchi al 4%.

Como se mencionó anteriormente, la relación $\omega 6/\omega 3$ es importante en cuanto a los beneficios fisiológicos que puede causar la ingesta de ácidos grasos esenciales. Cuanto menor sea esta relación los efectos benéficos en la salud serán más altos (Fernández-Travieso, 2010; Simopoulos, 2002). La adición de sacha inchi al 4 y al 2% permitió diminuir el valor de dicha relación de 5 a 0.83 y 0.91, respectivamente, debido a alto aporte de $\omega 3$ proporcionado por la almendra de sacha inchi.

El índice de aterogenicidad (IA) de las muestras de yogur se calculó como una relación entre el contenido de SFA y el de MUFA y PUFA, de acuerdo a la ecuación sugerida por Ulbricht y Southgate (1991): $IA = \frac{C12:0 + 4C14:0 + C16:0}{\sum MUFA + PUFA}$. Este índice indica la contribución de factores dietarios a factores que promueven o protegen contra el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y coronarias como la aterosclerosis (Osorio et al., 2011). Como puede apreciarse en la Tabla 9, el IA de las muestras de yogur varió

entre 0.8 y 1.9. Las muestras con adición de sacha inchi presentaron resultados significativamente menores que las muestras control (0.8-1.4 vs. 1.9, $p<0.05$), indicando que los yogures de sacha inchi podrían proteger contra el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, considerados actualmente como la segunda cause de mortalidad en el mundo. En kumis comerciales de Colombia los valores de IA variaron entre 1.5 y 2.9 (Osorio et al., 2011), rango dentro del cual se encuentran los yogures control del presente trabajo.

5.9. Estabilidad oxidativa

La estabilidad a la oxidación lipídica es un parámetro muy importante en los alimentos enriquecidos y/o adicionados con ácidos grasos poliinsaturados. La estabilidad oxidativa de las muestras de yogur se evaluó durante el tiempo de vida útil, los días 1, 14 y 21, mediante análisis de hidroperóxidos. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 10. Como puede apreciarse, la adición de almendra de sacha inchi no generó procesos de oxidación lipídica durante el tiempo de vida útil de los yogures, pues los valores encontrados no fueron significativamente mayores que las muestras control. Las concentraciones de hidroperóxidos variaron entre 0.08 y 0.222 µmoles/kg, valores que se encuentran dentro del rango para yogur natural (0.15 µmoles/kg). Estos resultados concuerdan con los observados por Nielsen et al. (2009), quienes encontraron que al enriquecer yogur con omega-3 se mantuvo la estabilidad oxidativa gracias a la presencia de proteínas como la caseína y péptidos bioactivos, compuestos que han demostrado tener propiedades antioxidantes. Chee et al. (2005) también reconocen las propiedades antioxidantes de la caseína y de las proteínas del suero. Sin embargo, los resultados de su trabajo sobre muestras de yogur enriquecidas con aceites de algas reflejaron un aumento en la concentración de hidroperóxidos durante el tiempo de almacenamiento (2 µmoles/kg en 21 días).

La ausencia de oxidación de las muestras de yogur adicionado con sacha inchi encontrada en este trabajo puede explicarse por varios factores. Aparte de la presencia natural en el yogur de compuestos con potencial antioxidante (proteínas y péptidos), al adicionar el sacha inchi en trozos, su aceite queda protegido en la almendra, protegiéndolo del contacto con el oxígeno. Adicionalmente, el contenido de tocoferoles y tocotrienoles presentes en el sacha inchi, .le confieren a esta almendra una capacidad antioxidante natural (Follegatti-Romero, Piantino, Grimaldi, & Cabral, 2009).

Tabla 10. Concentración de hidroperóxidos (μmol/kg) de las muestras de yogur durante el tiempo de almacenamiento

Muestra	Día 1	Día 14	Día 21	Valor *p*
SIY-4-13.5	0.14 ± 0.06	0.13 ± 0.07	0.12± 0.05	0.97
SIY-4-15	0.16 ± 0.04	0.14 ± 0.05	0.16 ± 0.06	0.82
SIY-2-13.5	0.13 ± 0.05	0.09 ± 0.03	0.17 ± 0.03	0.17
SIY-2-15	0.15 ± 0.04	0.10 ± 0.04	0.15 ± 0.04	0.42
SIY-L-13.5	0.14 ± 0.04	0.08 ± 0.02	0.22 ± 0.10	0.05
SIY-L-15	0.12 ± 0.07	0.18 ± 0.07	0.16 ± 0.03	0.050
C-13.5	0.12 ± 0.02	0.11 ± 0.06	0.14± 0.05	0.60
C-15	0.14 ± 0.04	0.14 ± 0.06	0.15 ± 0.02	0.94

5.10. Calidad microbiológica de los yogures

La calidad microbiológica de los yogures se determinó a la mitad de su vida útil (día 14), con el fin de verificar su inocuidad y concentración de bacterias acido lácticas (BAL) totales. Los resultdos presentados en la Tabla 11 indican que la adición de sacha inchi no afectó la inocuidad del yogur, pues la concentración de coliformes totales, fecales y mohos y levaduras se mantuvo siempre por debajo de los rangos establecidos por la normas nacionales para este tipo de productos.

Tabla 11. Calidad microbiológica de los yogures

Muestra	Coliformes totales (UFC/g)	Coliformes fecales (UFC/g)	Mohos y levaduras (UFC/g)	BAL (UFC/g)
SIY4-13.5	<3	<3	40	>300000
SIY4-15	<3	<3	50	>300000
SIY2-13.5	<3	<3	60	>300000
SIY2-15	<3	<3	40	>300000
SIYL-13.5	<3	<3	20	>300000
SIYL-15	<3	<3	<10	>300000
C-13.5	<3	<3	<10	>300000
C-15	<3	<3	<10	>300000
	20-93*	<3*	200-500*	-

* Valores de referencia

De otra parte, tampoco se evidenció inhibición del contenido total de BAL por la adición de la almendra de sacha inchi, pues los recuentos demuestran que los microorganismos se mantuvieron viables durante el tiempo de vida media del producto.

5.11. Análisis de componentes principales

Los resultados obtenidos del análisis de componentes principales para el perfil de ácidos grasos se muestran en la Figura 6. Como puede apreciarse, la composición en ácidos grasos de las muestras de yogur explica el 95.87% de variabilidad y las muestras pueden clasificarse claramente por su contenido de PUFA (C18:2n6 y C18:3n3) (Figura 6b).

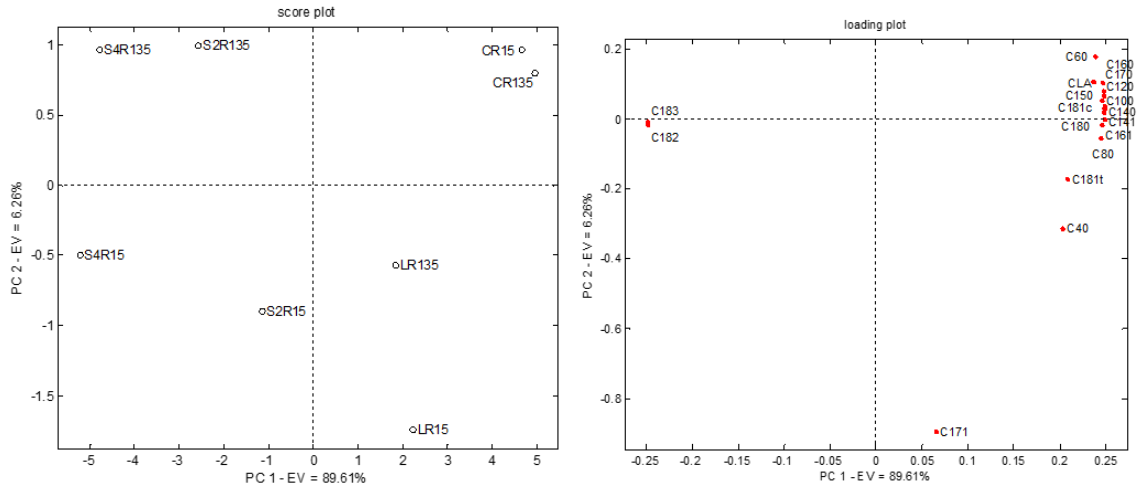

Figura 6. (a) Score plot y (b) Loading plot obtenido mediante PCA del perfil de FAMEs de las muestras de yogur.

Al realizar un análisis PCA con todas las variables evaluadas (Figura 7), se observó que estas explican en un 78.45% la variabilidad entre las muestras, encontrando una distribución de izquierda a derecha de los tratamientos, donde SIY4-15 mostró mayor aporte de proteína, grasa y sólidos totales en comparación con muestras control. Sin embargo, debido a que ciertas variables mostraron ser poco representativas, se seleccionaron aquellas con mayor efecto sobre las muestras. Estas variables se presentan en la Tabla 12 y su análisis PCA se ilustra en la Figura 8. Teniendo que estas variables explican en un 85.22% de la variabilidad de las muestras, es posible a partir del análisis PCA seleccionar el tratamiento con mejor comportamiento frente a las evaluaciones realizadas, es decir el tratamiento SIY4-15.

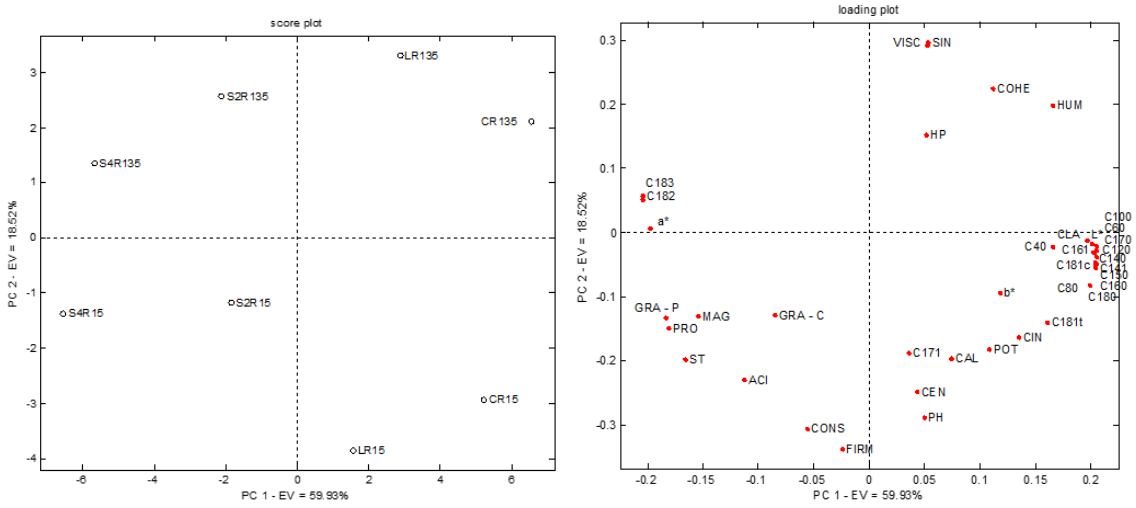

Figura 7. (a) Score plot y (b) loading plot obtenido mediante PCA con el total de las variables evaluadas en muestras de yogur.

Tabla 12. Variables con mayor incidencia en los yogures elaborados

Variable	PC1	PC2
'CIN'	0,126	-0,198
'ST'	-0,175	-0,177
'HUM'	0,175	0,177
'PRO'	-0,179	-0,137
'GRA - P'	-0,178	-0,089
'ACI'	-0,122	-0,229
'GRA - C'	-0,097	-0,142
'b*'	0,112	-0,088
'COHE'	0,11	0,221
'C8:0'	0,193	-0,072
'C14:0'	0,202	-0,062
'C14:1'	0,202	-0,068
'C16:0'	0,202	-0,064
'C18:0'	0,202	-0,065
'C18:1t'	0,178	-0,136
'C18:2'	-0,202	0,067
'C18:3'	-0,202	0,064

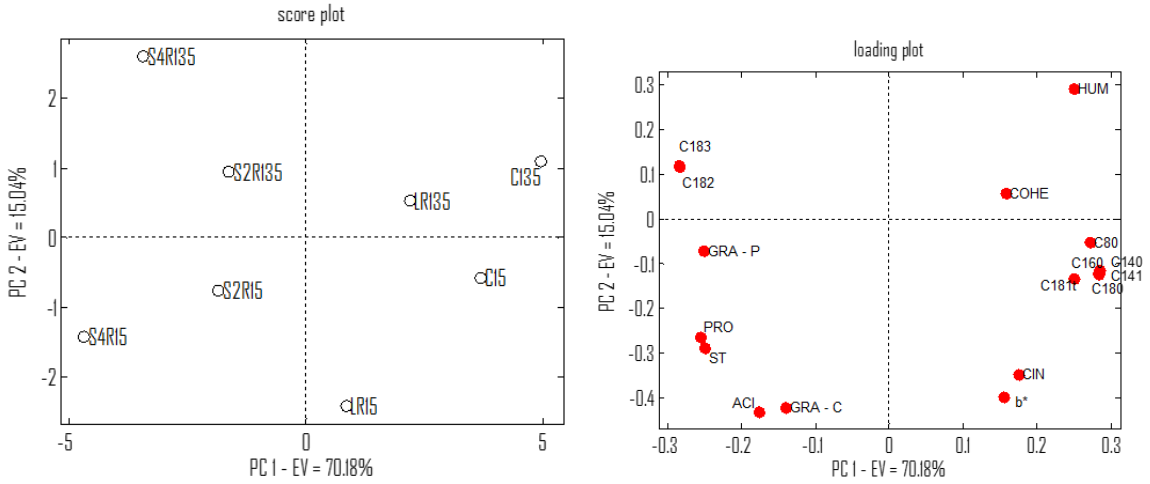

Figura 8. (a) Score plot y (b) Loading Plot obtenido mediante PCA con variables seleccionadas evaluadas en muestras de yogur

5.12. Análisis sensorial

Tras seleccionar por análisis PCA la muestra que presentó las mejores características (SIY4-15), se realizó el análisis sensorial con el fin de obtener un perfil sensorial basado en las calificaciones medias, donde predominan caracteres propios de la almendra por encima del yogur. Los resultados de este perfil se presentan en la Figura 9.

En cuanto al aroma se observó dominio del aroma propio del sacha inchi, sobre el aroma característico del yogur, lo cual es poco deseable, pues el impacto inicial se considera fuerte y podría llegar a generar rechazo por parte de los consumidores. Resultados similares se han obtenido en estudios realizados por Isanga y Zhang (2009), quienes establecieron que el uso de agentes aromatizantes mejora el sabor sensorial y aceptabilidad global del yogur a base de leche de maní mejorando el gusto de los consumidores por el producto. El mismo fenómeno se encontró con respecto del sabor, pues predominó el carácter terroso y tostado de la almendra. Por su parte, la textura presentó una viscosidad aceptable influenciada por el carácter masticable que proporcionan los trozos de sacha inchi. Sin embargo, los resultados consideraron el yogur como un producto innovador dentro de nuevas tendencias que le apuestan a sabores exóticos, ampliando tanto cantidad de productos como beneficios. Muestra de ello es la presencia en el mercado de yogur con sabores como chile, pepino, cítricos y especias (Rognlien, Duncan, O'Keefe, & Eigel, 2012).

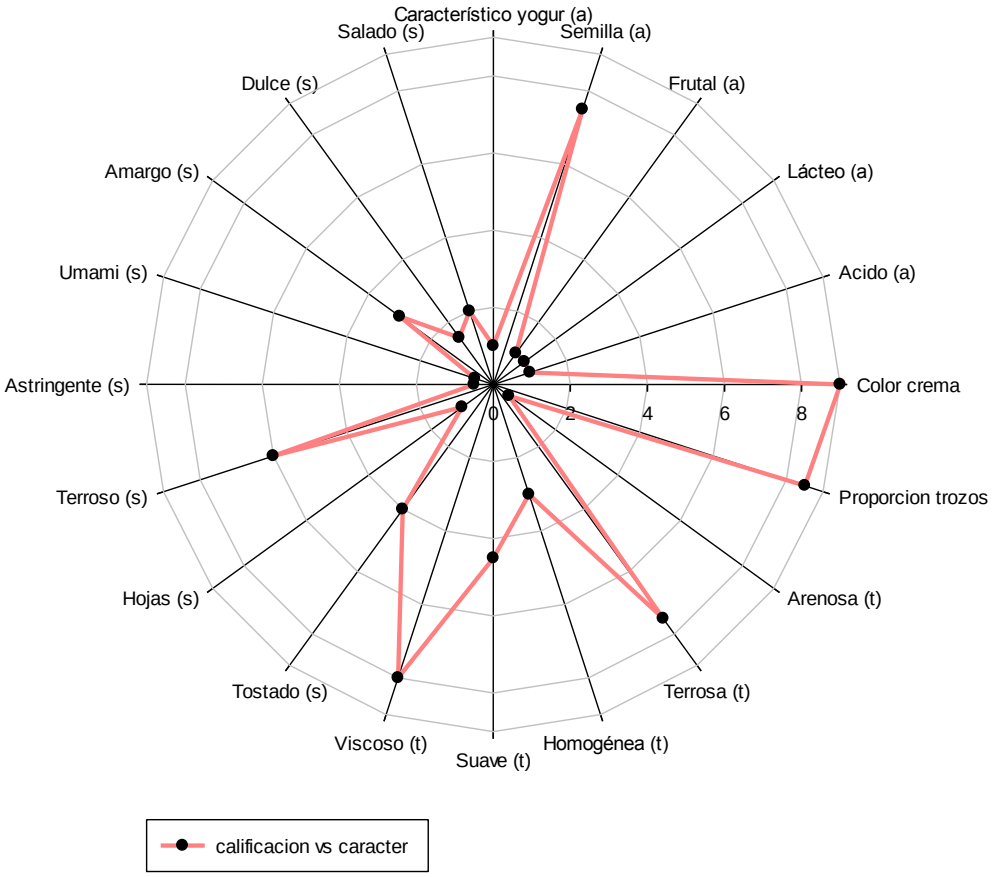

Figura 9. Perfil sensorial panel entrenado

Los resultados del análisis sensorial de consumidores se presentan en la Figura 10. De este análisis se obtuvo que el 64% de los panelistas se identificaron como consumidores habituales de yogur (diario o semanal) y el 36% restante presentó consumo mensual o esporádico. Para los consumidores habituales se obtuvo una aceptación de alrededor del 60% para los parámetros de color, aroma y sabor y textura, con una decisión de compra del 61%. Estos panelistas manifestaron no conocer el producto y experimentaron inicialmente un aroma de impacto fuerte que se atenúa después de la cata. En general el nivel de aceptación se vio influenciado no solo por el consumo habitual de yogur, sino también por la preferencia hacia otros sabores y texturas, por lo cual se podrían tener calificaciones negativas del producto.

En cuanto a los rangos de edad evaluados (18-25, 25-40 y 40-60) se observó un mayor rechazo del producto en las personas de 40 a 60 años ya que en su mayoría consumen esporádicamente yogur. Por otra parte, los panelitas con edades de 18 a 25 y 25 a 40

presentaron buena aceptación del producto y expresaron gran interés por la presencia de trozos en la textura.

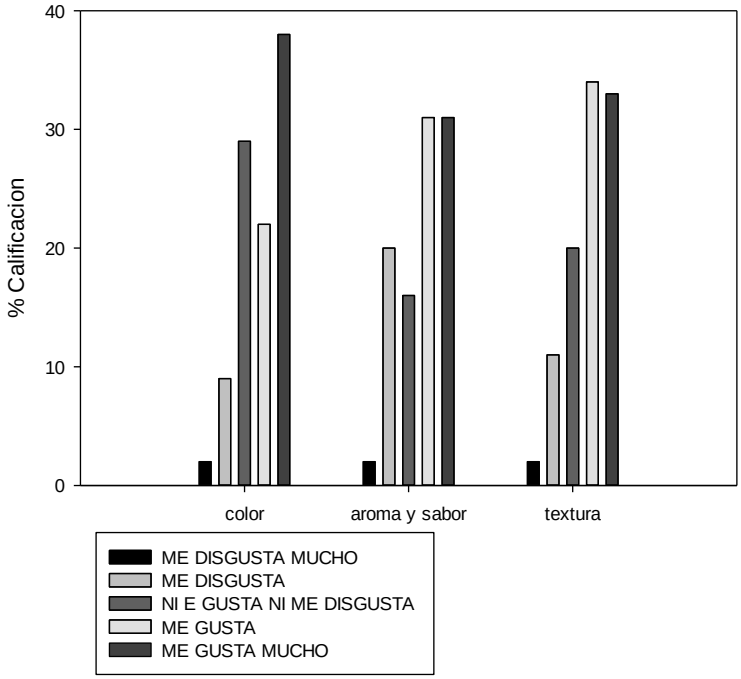

Figura 10. Calificación sensorial yogur consumidores habituales.

6. Conclusiones

- Incluir sacha inchi en el proceso de elaboración del yogur previo a la pasteurización no afectó la cinética fermentativa en ninguna de las concentraciones (4%, 2% y agua de sacha inchi) ni el proceso de elaboración general. De igual manera no influyó en la inocuidad del yogur, manteniendo valores inferiores a los rangos establecidos por la norma colombiana para coliformes totales, fecales, mohos y levaduras.

- Las formulaciones evaluadas mostraron que la adición de sacha inchi y el contenido de sólidos lácteos no grasos influyeron significativamente en la composición proximal de los yogures. La grasa mostró un comportamiento directamente proporcional a la concentración de sacha inchi usada, teniendo a su vez un contenido mayor de ácidos grasos esenciales.

- Los valores de pH y acidez cambiaron durante el tiempo de almacenamiento, teniendo valores de acidez ligeramente más altos para tratamientos con 15% de sólidos lácteos no grasos. La textura no presentó cambios significativos durante el tiempo, indicando que variar a concentración de almendra de sacha inchi y el contenido de sólidos lácteos no grasos no generó cambios en los parámetros estudiados como firmeza, consistencia cohesividad y CRA.

- El color se vio afectado por la concentración de sacha inchi dentro de las formulaciones evaluadas, mostrando tendencia hacia los rojos (a*). El tiempo de almacenamiento no mostró un efecto significativo, reflejado en el cambio total de color que se mantuvo por debajo de 3.8.

- Incluir sacha inchi modificó el perfil de ácidos grasos presentes en el yogur incrementando el contenido de ácidos grasos poliinsaturados, pero a pesar de esto no se presentaron fenómenos oxidativos en las muestras durante el tiempo de almacenamiento refrigerado.

- El perfil sensorial del producto presentó un predominio de aroma y sabor característico del sacha inchi, pero se observó un nivel de aceptación y compra superior al 60% en consumidores habituales de yogur.

- El yogur adicionado con sacha inchi mostró factibilidad de producción, manteniendo características deseadas para bebidas lácteas fermentadas.

7. Recomendaciones

Para futuras investigaciones se recomienda:

Analizar el perfil de aminoácidos del producto final, así como evaluar uso de aditivos o distintas alternativas que permita mejorar el olor de impacto percibido por parte de los consumidores.

Realizar un seguimiento durante el tiempo de almacenamiento de la dinámica microbiana y de las distintas propiedades viscoelásticas que permitan realizar una mejor descripción del producto.

Realizar estudio clínico con el fin de establecer los posibles efectos benéficos asociados al consumo regular del producto, así como un estudio de mercado y factibilidad de producción a nivel industrial.

8. Referencias

Akalın, A. S., Unal, G., Dinkci, N., & Hayaloglu, A. A. (2012). Microstructural, textural, and sensory characteristics of probiotic yogurts fortified with sodium calcium caseinate or whey protein concentrate. *Journal of Dairy Science, 95* (7), 3617-3628.

Alais, C. (1985). Generalidades la leche y los productos lácteos. In E. Reverté (Ed.), *Ciencia De La Leche*.

AOAC. (2012). *AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International.* (19th ed.). Gaithersburg, Maryland, USA.

Báez, L. L., & Borja, A. K. (2013). *Elaboración de una barra energética a Base de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) como fuente de Omega 3 y 6.* UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.

Barón, M. (2010). *Desarrollo de bebidas lácteas funcionales con énfasis en ácido linoleico conjugado (CLA).* Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Bonet, B., Juárez, M., Moreno, B., Ortega, R., & Suárez, L. (2009). Libro blanco de los lácteos. *Fenil-MARM*.

Buriti, F. C. A., Freitas, S. C., Egito, A. S., & dos Santos, K. M. O. (2014). Effects of tropical fruit pulps and partially hydrolysed galactomannan from Caesalpinia pulcherrima seeds on the dietary fibre content, probiotic viability, texture and sensory features of goat dairy beverages. *LWT - Food Science and Technology, 59* (1), 196-203.

Caleja, C., Barros, L., Antonio, A. L., Carocho, M., Oliveira, M. B. P. P., & Ferreira, I. C. F. R. (2016). Fortification of yogurts with different antioxidant preservatives: A comparative study between natural and synthetic additives. *Food Chemistry, 210*, 262-268.

Coronell, C. (2012). *Caracterización química de la semilla de sacha inchi (Plukenetia volubilis) cultivada en el departamento del Putumayo, Colombia.* Universidad del Cauca, Popayán.

Cueva, O., & Aryana, K. J. (2008). Quality attributes of a heart healthy yogurt. *LWT - Food Science and Technology, 41* (3), 537-544.

Chee, C. P., Gallaher, J. J., Djordjevic, D., Faraji, H., McClements, D. J., Decker, E. A., Hollender, R., Peterson, D. G., Roberts, R. F., & Coupland, J. N. (2005). Chemical and sensory analysis of strawberry flavoured yogurt supplemented with an algae oil emulsion. *Journal of Dairy Research, 72* (3), 311-316.

Chirinos, R., Zuloeta, G., Pedreschi, R., Mignolet, E., Larondelle y., & Campos, D. (2013). Sacha inchi (Plukenetia volubilis): A seed source of polyunsaturated fatty acids, tocopherols, phytosterols, phenolic compounds and antioxidant capacity. *Food Chemistry, 141* (3), 1732-1739.

Christie, W. W., Sébédio, J. L., & Juanéda, P. (2001). A practical guide to the analysis of conjugated linoleic acid (CLA). . *Lipids, 42* (12), 1073-1084.

Dal Bello, B., Torri, L., Piochi, M., & Zeppa, G. (2015). Healthy yogurt fortified with n-3 fatty acids from vegetable sources. *Journal of Dairy Science, 98* (12), 8375-8385.

Díaz Jiménez, B., Sosa Morales, M. E., Vélez Ruiz, J. F. (2004). Efecto de la adición de fibra y la disminución de grasa en las propiedades fisicoquímicas del yogur. *Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 3*, 287-305.

do Espírito Santo, A. P., Perego, P., Converti, A., & Oliveira, M. N. (2012). Influence of milk type and addition of passion fruit peel powder on fermentation kinetics, texture profile and bacterial viability in probiotic yoghurts. *LWT - Food Science and Technology, 47* (2), 393-399.

do Espirito Santo, A. P., Silva, R. C., Soares, F. A., Anjos, D., Gioielli, L. A., & Oliveira, M. N. (2010). Açai pulp addition improves fatty acid profile and probiotic viability in yoghurt. *International Dairy Journal, 20* (6), 415-422.

Durá, T. (2008). Ingesta de leche y derivados lácteos en la población universitaria. *Nutr Hosp, 23(2)*|, 89-94.

Estrada, J., Boeneke, C., Bechtel, P., & Sathivel, S. (2011). Developing a strawberry yogurt fortified with marine fish oil. *Journal of dairy science, 94* (12), 5760-5769.

Estrada, J. D., Boeneke, C., Bechtel, P., & Sathivel, S. (2011). Developing a strawberry yogurt fortified with marine fish oil. *Journal of Dairy Science, 94* (12), 5760-5769.

Fellows, P., & Hampton, A. (1992). 9. Milk and milk products. *Small-scale food processing - A guide for appropriate equipment*.

Fernández-Travieso, J. C. (2010). Ácidos grasos omega-3 y prevención cardiovascular. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 41* (1), 3-15.

Figueroa, J. D., Cordero, K., Ilan, M. S., & De Leon, M. (2013). Dietary Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids Improve the Neurolipidome and Restore the DHA Status while Promoting Functional Recovery after Experimental Spinal Cord Injury. *Journal of Neurotrauma, 30* (10), 853-868.

Folch, J., Lees, M., & Sloane, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem., 226* (1), 497-509.

Follegatti-Romero, L. A., Piantino, C. R., Grimaldi, R., & Cabral, F. A. (2009). Supercritical CO2 extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) seeds. *The Journal of Supercritical Fluids, 49* (3), 323-329.

Forero, G. (2015). El mercado del yogur movió $1,2 billones y se espera un aumento. In www.larepublica.co (Ed.), (Vol. 2015, pp. http://www.larepublica.co/el-mercado-del-yogur-movi%C3%B3-12-billones-y-se-espera-un-aumento_248241). http://www.larepublica.co/el-mercado-del-yogur-movi%C3%B3-12-billones-y-se-espera-un-aumento_248241: www.larepublica.co.

Giroux, H. J., St-Amant, J. B., Fustier, P., Chapuzet, J.-M., & Britten, M. (2008). Effect of electroreduction and heat treatments on oxidative degradation of a dairy beverage enriched with polyunsaturated fatty acids. *Food Research International, 41* (2), 145-153.

Gomes, J. J. L., Duarte, A. M., Batista, A. S. M., de Figueiredo, R. M. F., de Sousa, E. P., de Souza, E. L., & Queiroga, R. d. C. R. d. E. (2013). Physicochemical and sensory properties of fermented dairy beverages made with goat's milk, cow's milk and a mixture of the two milks. *LWT - Food Science and Technology, 54* (1), 18-24.

Gorriti, A., Arroyo, J., Quispe, F., Cisneros, B., Condorhuamán, M., Almora, Y., & Chumpitaz, V. (2010). TOXICIDAD ORAL A 60 DÍAS DEL ACEITE DE SACHA INCHI (Plukenetia volubilis L.) Y LINAZA (Linum usitatissimum L.) Y DETERMINACIÓN DE LA DOSIS LETAL 50 EN ROEDORES. *Rev Peru Med Exp Salud Publica., 27 (3)*, 352-360.

Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Singh, A. K., Arora, S., Lal, D., & Sabikhi, L. (2015). Development of stable flaxseed oil emulsions as a potential delivery system of ω-3 fatty acids. *Journal of Food Science and Technology, 52* (7), 4256-4265.

Gutierrez, L.-F., Martínez, J. C., & Barón-Núñez, M. R. (2010). Conjugated linoleic acid (CLA) content and fatty acid composition of some commercial yogurts from Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 63* (2), 5685-5692.

Gutiérrez, L. F., Rosada, L. M., & Jimenez, A. (2011). Chemical composition of Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) seeds and characteristics of their lipid fraction. *Grasas Y Aceites, 62* (1), 76-83.

Hamaker, B. R., Valles, C., Gilman, R., Hardmeier, R. M., Clark, D., Garcia, H. H., Gonzales, A. E., Kohlstad, I., Castro, M., Valdivia, R., Rodriguez, T., & Lescano, M. (1992). Amino Acid and Fatty Acid Profiles of the Inca Peanut (Plukenetia volubilis). *Cereal Chemistry, 69* (4), 461-463.

Hanssen, H.-P., & Schmitz-Hübsch, M. (2011). Chapter 117 - Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.) Nut Oil and Its Therapeutic and Nutritional Uses. In V. R. P. R. W. B. Patel (Ed.), *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention* (pp. 991-994). San Diego: Academic Press.

Hashemi Gahruie, H., Eskandari, M. H., Mesbahi, G., & Hanifpour, M. A. (2015). Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. *Food Science and Human Wellness, 4* (1), 1-8.

Hickisch, A., Beer, R., Vogel, R. F., & Toelstede, S. (2016). Influence of lupin-based milk alternative heat treatment and exopolysaccharide-producing lactic acid bacteria on the physical characteristics of lupin-based yogurt alternatives. *Food Research International, 84*, 180-188.

Hurtado, Z. A. (2013). *ANÁLISIS COMPOSICIONAL DE LA TORTA Y ACEITE DE SEMILLAS DE SACHA INCHI (Plukenetia volubilis) CULTIVADA EN COLOMBIA* Unpublished MAESTRIA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Isanga, J., & Zhang, G. (2009). Production and evaluation of some physicochemical parameters of peanut milk yoghurt. *LWT - Food Science and Technology, 42* (6), 1132-1138.

Jeppesen, C., Schiller, K., & Schulze, M. B. (2013). Omega-3 and Omega-6 Fatty Acids and Type 2 Diabetes. *Current Diabetes Reports, 13* (2), 279-288.

Jiménez, B. D., Morales, M. E., & Ruiz, J. (2004). Efecto de la adición de fibra y la disminución de grasa en las propiedades fisicoquímicas del yogur. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*.

Kolanowski, W., & Laufenberg, G. (2006). Enrichment of food products with polyunsaturated fatty acids by fish oil addition. *European Food Research and Technology, 222* (3-4), 472-477.

Kris-Etherton, P. M., Harris, W. S., Appel, L. J., & Comm, N. (2002). Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation, 106* (21), 2747-2757.

Lane, K. E., & Derbyshire, E. J. (2015). Omega-3 Fatty Acids – A Review of Existing and Innovative Delivery Methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 00-00.

Lee, C., & Beuchat, L. R. (1991). Changes in chemical composition and sensory qualities of peanut milk fermented with lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology, 13* (4), 273-283.

Lee, W. J., & Lucey, J. A. (2004). Structure and physical properties of yogurt gels: effect of inoculation rate and incubation temperature. *Journal of Dairy Science, 87* (10), 3153-3164.

López, J. R. L. (2010). *Efecto del aceite de Sacha inchi (Plukenetia volubilis) en la dieta de las reproductoras de pollos de engorde sobre los parámetros productivos de su progenie.* UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, Peru.

Luna, P., Martín-Diana, A. B., Alonso, L., Fontecha, J., Angel de la Fuente, M., Requena, T., & Juárez, M. (2004). Effects of milk fat replacement by PUFA enriched fats on n-3 fatty acids, conjugated dienes and volatile compounds of fermented milks. *European Journal of Lipid Science and Technology, 106* (7), 417-423.

Macedo y Ramírez, R. C., & Vélez-Ruíz, J. F. (2015). Propiedades Fisicoquímicas y de Flujo de un Yogur Asentado Enriquecido con Microcápsulas que Contienen Ácidos Grasos Omega 3. *Información tecnológica, 26*, 87-96.

Mahrous, H., & Salam, R. A.-E. (2014). Production of a Functional Frozen Yoghurt Fortified with Omega-3 and Vitamin E. *American Journal of Food and Nutrition, 2* (5), 77-84.

Martín-Diana, A. B., Janer, C., Peláez, C., & Requena, T. (2004). Effect of milk fat replacement by polyunsaturated fatty acids on the microbiological, rheological and sensorial properties of fermented milks. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 84* (12), 1599-1605.

Maza, M., & Legorreta, P. (2011). Generalidades De La Leche Y Los Productos Lácteos. In C. N. d. I. d. l. Leche (Ed.), *El Libro Blanco De La Leche y Los Productos Lacteos* (pp. 26-43).

Nielsen, N. S., Debnath, D., & Jacobsen, C. (2007). Oxidative stability of fish oil enriched drinking yoghurt. *International Dairy Journal, 17* (12), 1478-1485.

Nielsen, N. S., Klein, A., & Jacobsen, C. (2009). Effect of ingredients on oxidative stability of fish oil-enriched drinking yoghurt. *European Journal of Lipid Science and Technology, 111* (4), 337-345.

Osorio, J. A., Ramirez, C., Novoa, C. F., & Gutiérrez, L. F. (2011). Conjugated linoleic acid, fatty acid profile and process properties in kumis - Fermented milk consumed in Colombia. *Vitae-Revista De La Facultad De Quimica Farmaceutica, 18* (2), 144-152.

Özer, B. H., & Kirmaci, H. A. (2010). Functional milks and dairy beverages. *International Journal of Dairy Technology, 63* (1), 1-15.

Pelaes Vital, A. C., Goto, P. A., Hanai, L. N., Gomes-da-Costa, S. M., Alves de Abreu Filho, B., & Nakamura, C. V. (2015). Microbiological , functional and rheological properties of low fat yogurt supplemented with Pleurotus ostreatus aqueous extract. *LWT - Food Science and Technology, 64*, 1028-1035.

Pinto, J. C. (2006). Uso de almidón de yuca para el mejoramiento de la viscosidad del yogur con frutas secas.

Rekha, C. R., & Vijayalakshmi, G. (2008). Biomolecules and Nutritional Quality of Soymilk Fermented with Probiotic Yeast and Bacteria. *Applied Biochemistry and Biotechnology, 151* (2), 452-463.

Rinaldi, L., Rioux, L.-E., Britten, M., & Turgeon, S. L. (2015). In vitro bioaccessibility of peptides and amino acids from yogurt made with starch, pectin, or β-glucan. *International Dairy Journal, 46*, 39-45.

Rognlien, M., Duncan, S., O'Keefe, S., & Eigel, W. (2012). Consumer perception and sensory effect of oxidation in savory-flavored yogurt enriched with n-3 lipids. *Journal of dairy science, 95* (4), 1690-1698.

Ruiz, C., Díaz, C., Anaya, J., & Rojas, R. (2013). Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y tortas de 2 especies de Sacha inchi (Plukenetia volubilis y Plukenetia huayllabambana). *Revista de la Sociedad Química del Perú, 79*, 29-36.

Sabeena Farvin, K. H., Baron, C. P., Nielsen, N. S., & Jacobsen, C. (2010). Antioxidant activity of yoghurt peptides: Part 1-in vitro assays and evaluation in ω-3 enriched milk. *Food Chemistry, 123* (4), 1081-1089.

Sah, B. N. P., Vasiljevic, T., McKechnie, S., & Donkor, O. N. (2016). Physicochemical, textural and rheological properties of probiotic yogurt fortified with fibre-rich pineapple peel powder during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology, 65*, 978-986.

Sánchez, G. L. (2012). *Caracterización y cuantificación de los ácidos grasos omega 3 y omega 6 presentes en el aceite de Sacha inchi (Plukenetia volubilis L).* Unpublished Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

Serafeimidou, A., Zlatanos, S., Kritikos, G., & Tourianis, A. (2013). Change of fatty acid profile, including conjugated linoleic acid (CLA) content, during refrigerated storage of yogurt made of cow and sheep milk. *Journal of Food Composition and Analysis, 31* (1), 24-30.

Shiby, V. K., & Mishra, H. N. (2013). Fermented milks and milk products as functional foods - A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 53* (5), 482-496.

Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine & Pharmacotherapy, 56* (8), 365-379.

Singh, M., & Kim, S. (2009). Yogurt fermentation in the presence of starch–lipid composite. *Journal of Food Science, 74* (2), C85-C89.

Singh, M., Kim, S., & Liu, S. X. (2012). Effect of purified oat β-glucan on fermentation of set-style yogurt mix. *Journal of Food Science, 77* (8), 195-201.

Sunny-Roberts, E. O., Otunola, E. T., & Iwakun, B. T. (2004). An evaluation of some quality parameters of a laboratory-prepared fermented groundnut milk. *European Food Research and Technology, 218* (5), 452-455.

Takahata, K., Monobe, K., Tada, M., & Weber, P. C. (1998). The benefits and risks of n-3 polyunsaturated fatty acids. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 62* (11), 2079-2085.

Tamillow, K. (2012). El boom del consumo de yogurt en Latinoamérica. In (Vol. 2015).

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. (1999). *Yoghurt science and technology*. London: Woodhead Publishing Ltd.

Tamjidi, F., Nasirpour, A., & Shahedi, M. (2012). Physicochemical and sensory properties of yogurt enriched with microencapsulated fish oil. *Food Science and Technology International, 18* (4), 381-390.

Travieso, J. C. F. (2010). Ácidos grasos omega-3 y prevención cardiovascular. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas, 41* (1), 3-15.

Ulbricht, T. L. V., & Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: Seven dietary factors. *Lancet, 338*, 985-992.

Williams, E. B., Hooper, B., Spiro, A., & Stanner, S. (2015). The contribution of yogurt to nutrient intakes across the life course. *Nutrition Bulletin, 40*, 9-32.

Anexos

Anexo 1. Formato evaluación sensorial panel entrenado

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FORMATO DE EVALUACION SENSORIAL DE UNA BEBIDA LÁCTEA ENRIQUECIDA NATURALMENTE CON ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES PANEL ENTRENADO

Nombre: _____ **Fecha:** _____

Por favor, en frente de usted tiene una muestra de yogur, califique cada una de las características a continuación

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COLOR CREMA	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|

AROMA

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ÁCIDO	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|
LACTEO	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|
FRUTAL	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|
SEMILLA	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|
CARACTERÍSTICO YOGUR	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|___	|

SABOR

SALADO 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

DULCE 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

AMARGO 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

UMAMI 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

ASTRINGENTE 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

TERROSO 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

MOHOSO 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

HOJAS 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

TOSTADO 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

TEXTURA

VISCOSO 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|

SUAVE 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|

HOMOGENEA 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|

TERROSA 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|

ARENOSA 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|

CARÁCTER (Proporción de Partículas en el yogur) 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|___|

Observaciones Generales :

_____
_____
_____
_____
_____

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!

Anexo 2. Formato evaluación sensorial consumidores

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FORMATO DE EVALUACION SENSORIAL DE UNA BEBIDA LÁCTEA ENRIQUECIDA NATURALMENTE CON ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES
CONSUMIDORES

Fecha: _____ **Nombre:** _____

Por favor indique rango de edad en el que se encuentra

☐ 18 – 25 ☐ 25 – 40 ☐ 40 – 60 ☐ > 60

Es usted consumidor de yogur:

☐ Diario ☐ Semanal ☐ Mensual ☐ Esporádicamente

Indique con una x según corresponda

	Me disgusta mucho	Me disgusta poco	Ni me gusta, ni me disgusta	Me gusta poco	Me gusta mucho
Color					
Sabor					
Textura					

¿Compraría en el mercado este producto? SI ☐ NO ☐

Observaciones Generales:

_____
_____
_____

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!

Anexo 3. Archivo fotográfico elaboración y análisis de yogures.

Selección semillas sacha inchi:

Lavado, tostión y disminución tamaño de partícula

Elaboración agua de sacha inchi

Proceso de pasteurización y seguimiento de la cinética de fermentación en yogur.