



Aprovechamiento de la torta residual de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* *Linneo*) mediante extracción por solventes de su aceite

Cristhian Fernando Betancourth López

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2013

Aprovechamiento de la torta residual de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) mediante extracción por solventes de su aceite

Cristhian Fernando Betancourth López

Tesis como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director:

Mg. Oscar Arango Bedoya

Línea de Investigación:

Biosistemas Integrados

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2013

Dedicatoria

*A mi familia, Esther, Socorro y Jorge,
el regalo de Dios más importante en mi
vida.*

*A Marisol González Ossa, quien es
mi amor, compañera y amiga.*

*A Jhon Jairo Burgos Erazo, mi amigo
y hermano en cada momento.*

Agradecimientos

Gracias infinitas a Dios, por sus bendiciones en cada segundo de mi vida.

Al Magister Oscar Arango Bedoya, por compartir sus conocimientos y orientar el desarrollo de esta investigación.

A la Universidad de Manizales, quien a través de sus docentes brindaron una excelente formación académica.

RESUMEN

Las características nutritivas de la semilla de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) debidas a su alto contenido de proteína (27%) y a la calidad de su aceite rico en ácidos grasos insaturados, han motivado que agricultores y empresas en el departamento del Putumayo inicien la explotación de esta semilla, con el propósito de exportar sus derivados en el futuro. Sin embargo, tanto el cultivo como el procesamiento se realizan de manera poco tecnificada y, en el caso de la extracción del aceite por el método de prensado, se genera la torta, un subproducto con alto contenido de proteína y aceite residual que no está siendo aprovechado. En este estudio se analizó la composición físico-química de la semilla y de la torta de sachá inchi cultivada en la región del Putumayo, se evaluó un método para extraer el aceite residual de la torta y se analizó composición y parámetros de calidad del mismo, con el fin de proponer una alternativa de valorización de éste residuo. Del análisis de la torta obtenida después del proceso de extracción del aceite de sachá inchi por método de prensado en frío se obtuvo que contiene alta cantidad de proteína (59.1%) y grasa (6.93%) en base seca, por lo que representa una alternativa a la torta de soja en la elaboración de alimentos concentrados animales. Se encontró que la semilla cultivada en el municipio de Puerto Caicedo (Putumayo) contiene 22,7% de proteína y 37,9% de grasa como extracto etéreo, además la composición del aceite mostró ser rica en ácidos grasos poliinsaturados linolénico (48,1%) y linoléico (32,8%), mientras que las cantidades de ácidos grasos monoinsaturados (oleico) y saturados (palmítico y esteárico) solo fueron de 9,7% y 8,4% respectivamente. En el análisis del proceso de extracción del aceite a partir de la torta residual de sachá inchi mediante el método soxhlet se observó que la relación muestra/solvente tuvo un efecto muy significativo ($P < 0,0001$) en el rendimiento de extracción de aceite, los mejores rendimientos se consiguieron al emplear una relación muestra/solvente de 1:6 y, dado que el tiempo no tuvo efecto significativo, por motivos económicos sería recomendable trabajar con el menor tiempo de extracción evaluado que fue de 3 horas.

Palabras clave: sachá inchi, *Plukenetia volubilis*, aceites, ácidos grasos, extracción soxhlet.

ABSTRACT

The nutritional characteristics of sachá inchi seed (*Plukenetia volubilis* L.) due to its high content of protein (27%) and the quality of its oil rich in unsaturated fatty acids have motivated farmers and companies in the department of Putumayo to produce this seed in order to export its derivatives in the future. However, the cultivation and the processing are made in a low-technified manner. In the case of sachá inchi oil extraction, it's made by cold pressing method, generating a by-product ('cake') with high protein and oil contents. That by-product is not being exploited nowadays. In this study the physical and chemical composition of the seeds and cake of sachá inchi cultivated in the region of Putumayo were analyzed. We evaluated a method to extract this residual oil cake and analyzed the composition and quality parameters of it, in order to propose an alternative use of that by-product. From the analysis of the cake obtained after oil extraction process of sachá inchi by cold pressing method, it was obtained that the cake contains high amount of protein (59.1%) and fat (6.93%) on dry basis, so sachá inchi's cake can be an alternative to soybean cake in the production of animal feed products. It was found that the seed planted in the town of Puerto Caicedo (Putumayo) contains 22.7% protein and 37.9% fat (as ether extract), and oil composition was shown to be rich in the polyunsaturated fatty acids linolenic (48.1%) and linoleic (32.8%), while the amount of monounsaturated fatty acids (oleic acid) and saturated (palmitic and stearic) were only 9.7% and 8.4% respectively. In the analysis of the oil extraction process from the residual cake of sachá inchi by soxhlet method, it was observed that the sample / solvent ratio had a significant effect ($P < 0.0001$) in the oil extraction yield. The best yields were obtained by using a sample / solvent ratio of 1:6 and, due to the time had no significant effect, for economic reasons would be advisable to work with the less evaluated time of 3 hours.

Keywords: sachá inchi, *Plukenetia volubilis*, oils, fatty acids, soxhlet extraction.

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	10
1. OBJETIVOS.....	12
1.1 Objetivo general.....	12
1.2 Objetivos específicos.....	12
2. MARCO TEORICO	12
3. ESTADO DEL ARTE	15
4. ABORDAJE METODOLÓGICO.....	16
4.1 Caracterización de la semilla de sachá inchi.....	16
4.2 Caracterización de la torta de sachá inchi.	18
4.3 Extracción de aceite a partir de la torta residual de sachá inchi.	18
4.4 Diseño experimental.....	20
4.5 Análisis del aceite extraído de la torta residual de sachá inchi	20
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
5.1 Características fisicoquímicas de la semilla y del aceite de sachá inchi	21
5.1.1 Semilla de sachá inchi.	22
5.1.2 Aceite de sachá inchi.....	25
5.2 Torta de sachá inchi.	26
5.3 Extracción de aceite a partir de la torta de sachá inchi.....	27
6. CONCLUSIONES.....	28
BIBLIOGRAFÍA.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta y frutos de sacha inchi. Fuente: Autor.....	13
Figura 2. Equipo Soxhlet. Fuente: Núñez (2008).....	15
Figura 3. Semilla y Almendra de Sacha Inchi. Fuente: Autor.....	17
Figura 4. Torta de Sacha Inchi. Fuente: Autor.	18
Figura 5. Deshidratación de la torta de sacha inchi y determinación del contenido final de humedad. Fuente: Autor.....	18
Figura 6. Solvente y montaje soxhlet. Fuente: Autor.	19
Figura 7. Aceite extraído de la torta residual de sacha inchi. Fuente: Esta Investigación.....	19
Figura 8. Semillas, almendras y cáscaras de sacha inchi. Fuente: Autor.	22

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Diseño experimental	20
Tabla 2. Matriz de diseño experimental	20
Tabla 3. Características físicas de la semilla y almendra de sachá inchi.....	22
Tabla 4. Composición fisicoquímica de semilla de sachá inchi.....	23
Tabla 5. Contenido de proteína y aceite en sachá inchi y otras oleaginosas.	24
Tabla 6. Análisis físico-químico del aceite crudo de sachá inchi.....	25
Tabla 7. Ácidos grasos presentes en el aceite de sachá inchi.....	26
Tabla 8. Composición química de la torta de sachá inchi.....	27
Tabla 9. Resultados del análisis del proceso de extracción del aceite de la torta de sachá inchi.	27
Tabla 10. Análisis de varianza para la extracción del aceite de la torta residual de sachá inchi	28

INTRODUCCION

Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) es una planta nativa de la selva amazónica cuyas semillas son ricas en aceite (49%) y proteína (33%), y han sido parte de la dieta ancestral de muchos grupos nativos de la región (Hamaker *et.al.*, 1992). Actualmente el sacha inchi se ha convertido en un cultivo de importancia creciente en el departamento del Putumayo y las comunidades campesinas tienen la esperanza de que este sea un producto promisorio para la sustitución de cultivos ilícitos en la zona. La semilla de sacha inchi es altamente nutritiva y ha ganado atención mundial desde que su aceite ganó la medalla de oro en el “World Edible Oil Competition” en París en el año 2004 (Agroindustrias Amazónicas, 2006).

La planta de sacha inchi es utilizada tradicionalmente por las poblaciones amazónicas (indígena y mestiza), quienes aprovechan los frutos, hojas, tallo y raíces como alimento, combustible, restaurador de piel, insecticida, desparasitador, vigorizante y contra el reumatismo. El potencial de este cultivo se sustenta no solo en su valor alimenticio, sino también por la presencia de compuesto activos para la salud. Según Hamaker *et al.* (1992), el contenido de proteína de las semillas de sacha inchi es similar al de otras semillas oleaginosas como la soya (alrededor de 27%), pero su perfil de aminoácidos es mejor. Además de esto, el aceite de sacha inchi es muy rico en ácidos grasos linolénico (omega 3) y linoléico (omega 6), los cuales tienen efectos en la prevención de enfermedades del corazón (García *et al.*, 2009).

Las tendencias mundiales de incremento en la demanda de aceites de origen vegetal menos perjudiciales para la salud que las grasas de origen animal, y la preocupación por el consumo de alimentos más saludables o con propiedades nutraceuticas, hacen que el sacha inchi sea un producto con gran potencial en los mercados internacionales. Perú, a diferencia de Colombia, es pionero en la agroindustrialización de la semilla de sacha inchi y ha incursionado en mercados internacionales posicionando los productos a base de esta semilla (Álvarez y Ríos, 2009).

Según la Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente del Putumayo, se estima que pueden haber más de 200 Ha sembradas con sacha inchi en todo el departamento, sin embargo, el conocimiento agronómico de la especie es muy limitado, se desconocen aspectos como el manejo apropiado de plagas y enfermedades, además no se cuenta con una fuente de semilla certificada en Colombia, por lo que los rendimientos de producción y el contenido de aceite de la semilla no son uniformes.

La semilla de sacha inchi producida en el Putumayo se destina principalmente a la comercialización en fresco y a la extracción de aceite por el método de prensado en

frío, utilizando sistemas poco tecnificados y estandarizados, que ocasionan pocos rendimientos en el proceso y, por lo tanto, pérdidas económicas. Como un subproducto del proceso de extracción del aceite se genera la “torta”, la cual posee un elevado contenido de proteína y de aceite (Hamaker *et.al.*, 1992), pero este subproducto no ha sido caracterizado y actualmente no se ha evaluado ningún tipo de aprovechamiento sostenible, pues no se conoce estudios publicados sobre el tema.

A pesar de que el sachá inchi es un producto con gran potencial de producción y de industrialización, en el departamento del Putumayo aún se desconoce el valor real de la semilla, no existen investigaciones tanto experimentales y de desarrollo tecnológico que indiquen las características fisicoquímicas de la semilla ni de la torta o residuo generado en el proceso de extracción del aceite. A esto se le suma la falta de organización del sector agrario y el desconocimiento de tecnologías agroindustriales como alternativa para mejorar la calidad de vida tanto de productores como de pequeños transformadores, de acuerdo a información suministrada por la Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente Departamental.

Aunque algunas entidades locales y la misma Gobernación del Putumayo han previsto la necesidad de promover el cultivo de sachá inchi, lo hacen más por satisfacer las solicitudes de las comunidades en aras de congraciarse con ellas, sin que aun exista un paquete tecnológico adaptado que facilite la asistencia técnica y el manejo postcosecha, aunque al respecto, ya se tienen avances, por gestión de los mismos productores ante el al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, donde se han tenido algunas respuestas positivas.

El departamento del Putumayo es muy escasa la información consolidada y publicada sobre los productos agrícolas amazónicos. Existen entidades del gobierno como la Secretaria de Desarrollo Agropecuario y Medio Ambiente, la Secretaria de Productividad y Competitividad y la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonia (CORPOAMAZONIA), dedicadas a la recolección de datos, donde no existe ningún registro estadístico sobre el sachá inchi, en cuanto a la evolución del área cultivada, el número de familias que dependen del cultivo, volumen que se procesa, volumen de aceite generado, volumen de residuos y perspectivas de crecimiento del sector.

A la fecha no se conocen estudios realizado en la región del Putumayo acerca de las características y la composición de la semilla, el aceite y la torta residual del proceso de extracción del aceite de sachá inchi, ni se ha planteado una alternativa que permita valorizar este residuo agroindustrial, de tal manera que se logre mejorar la rentabilidad y el aprovechamiento integral en la producción de sachá inchi, y por

tales razones se planteó como objetivo de esta investigación aprovechar la torta residual de sachá inchi mediante extracción por solventes de su aceite.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Aprovechar la torta residual de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) mediante extracción por solventes de su aceite

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la semilla de Sachá Inchi.
- Determinar la calidad de la torta (residuo) de sachá inchi obtenida en el proceso de prensado.
- Extraer el aceite remanente en la torta de Sachá Inchi por método soxhlet.
- Establecer las mejores condiciones (tiempo y relación muestra/solvente) para el proceso de extracción con solventes del aceite remanente en la torta de sachá inchi.

2. MARCO TEORICO

La especie *Plukenetia volubilis* Linneo, fue descrita por primera vez, el año 1753 por el naturista Linneo. El conocimiento de la semilla de Sachá Inchi inicio en Perú en el año 1980; pero solo hasta el año 2000 se dio inicio al estudio de sus bondades gracias al apoyo de científicos europeos y la Universidad Nacional Agraria la Molina, quienes descubrieron en estas semillas la presencia de ácidos grasos Omega 3 y 6, proteínas y una gran cantidad de antioxidantes (Arévalo, 1995). En Colombia se han realizado algunas aplicaciones artesanales e investigaciones de caracterización del producto cultivado en el departamento de Caquetá, pero actualmente no se tiene conocimiento sobre ninguna investigación relacionada con la producción, transformación, comercialización y caracterización del sachá inchi ni de su aceite en el departamento de Putumayo.

La clasificación botánica del sachá inchi, citada por Arévalo (1995), es la siguiente:

Orden: Malpighiales.

Familia: Euphorbiaceae.

Género: *Plukenetia*.

Especie: *P. Volubilis* Linneo.

El sachá inchi es una planta en su definición agronómica, rústica, trepadora y semileñosa de poca exigencia nutricional; que se adapta a diferentes tipos de suelo, con pH entre 4,5 y 6,5, altitud de 80 a 1700 msnm (Olivas, 2007). Los frutos son cápsulas que oscilan entre 3 a 5 cm de diámetro, donde se encuentran las semillas que contienen los cotiledones como se observa en la figura 1, que es materia prima para realizar procesos de extracción del aceite (Garzatúa, 1999).



Figura 1. Planta y frutos de sachá inchi. Fuente: Autor.

De acuerdo al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), el sachá inchi ha sido utilizado tradicionalmente por las poblaciones amazónicas, quienes aprovechan los frutos, hojas, tallo y raíces como alimento, combustible, restaurador de piel, insecticida, desparasitador, vigorizante y contra el reumatismo, gracias a sus principios activos y en la composición de su aceite rico en ácido graso esencial alfa-linolénico (Arévalo, 1995).

La semilla de sachá inchi presenta una variabilidad muy amplia, observándose cultivares y ecotipos que difieren grandemente en área de follaje, tamaño y forma de hojas, semillas, así como en su capacidad de producción (contenido de aceite en las semillas); estimándose en 52 los ecotipos hasta hoy identificados, según el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. En Perú, existen las variedades Lama y Shanao cuyas características son: humedad 8.5 %, proteína 27.4 %, aceite 41.7 %, cenizas 2.1 %, fibra 2.6 %, carbohidratos 17.7 % para la variedad Lama y, humedad 7.9 %, proteína 25.8 %, aceite 40.5 %, cenizas 2.0 %, fibra 3.0 %, carbohidratos 20.8 % para la variedad Shanao, donde se puede notar algunas variaciones significativas. Otros ecotipos que se producen en Perú son: Pinto Recodo, Cumbaza, Tambo Yaguas y Río Putumayo, los cuales están siendo caracterizados conjuntamente con los demás ecotipos del Banco de Germoplasma publicado por el INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION AGRARIA en el año de 1995.

La cosecha de la semilla es permanente una vez que la planta ha alcanzado los 8 meses de edad, pues la floración es constante, observándose una ligera caída entre

febrero y marzo. Las cápsulas verdes se tornan oscuras y se van secando en la planta hasta tornarse marrón oscuro, este cambio se produce en un lapso de 15 a 20 días, que es necesario tomar en cuenta, pues las cápsulas son dehiscentes (Torres *et al.*; 2009). El rendimiento en producción es de 0.7 a 2.0 t/ha (Valles, 1992). El manejo postcosecha consiste en el secado y la trilla, operaciones que se realizan simultáneamente. El secado puede efectuarse en forma natural o artificial, según la fuente de calor. El trillado, se realiza manual o mecánico, obteniendo 52 % de semilla seca y 48 % de cáscara, con una humedad estimada de 8 a 10 %, para facilitar el descascarado de la almendra (Ruiz *et al.* 2008).

El aceite de sacha inchi posee compuestos denominados ácidos grasos esenciales (denominados así porque no pueden ser sintetizados en el organismo humano, y por tanto deben ser obtenidos a través de la dieta), los cuales son necesarios para el crecimiento y el desarrollo, así como para mantener una buena salud. Uno de ellos es el ácido graso omega-6, cuyas principales propiedades son: antiesclerótico, antiinflamatorio, antiprostático, antiartrítico, antihemorrágico, hepatoprotector, hipocolesterolímico (Coronas, 1998). Otro ácido graso presente en el aceite de sacha inchi es el omega-3, el cual interviene en la formación de hormonas, de membranas celulares, de la retina, en el funcionamiento de las neuronas y las transmisiones químicas y el correcto funcionamiento del sistema inmunológico. El Ácido graso omega-9 es otro miembro de la familia omega que está presente en aceite de sacha inchi, sin embargo no es considerado esencial porque el cuerpo puede producirlo a partir de alimentos que se ingieren (Coronas, 1998).

Los aceites de semillas oleaginosas pueden ser extraídos por un método conocido como extracción por solventes, una técnica de tratamiento que consiste en usar un solvente (un líquido capaz de disolver otra sustancia) para separar o retirar compuestos de una fase homogénea. Los factores que influyen en el proceso de extracción y que se refieren al disolvente son los siguientes: tiempo de extracción, cantidad de disolvente, temperatura de ebullición del solvente y tipo de solvente. El tiempo de extracción tiene una importancia fundamental en la cantidad de aceite extraído, puesto que cada muestra se comporta de manera diferente. En cuanto al tipo de solvente, hay que señalar que el más utilizado es el n-hexano comercial por sus propiedades físicas. Para dicha extracción, se requiere de un equipo soxhlet (Figura 2), el cual permite la obtención de principios activos y compuestos de los tejidos vegetales, pues el extractor soxhlet realiza un sinfín de extracciones de manera automática, con el mismo solvente que se evapora y condensa llegando siempre de manera pura al material, además que permite recuperar todo el solvente.

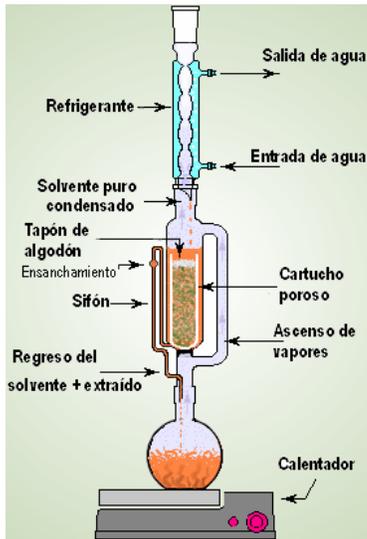


Figura 2. Equipo Soxhlet. Fuente: Núñez (2008).

3. ESTADO DEL ARTE

Se han estudiado diferentes procesos para la extracción del aceite de sacha inchi, Pascual y Mejía (2000) utilizaron como método de extracción el sometimiento a cocción de la muestra a elevadas temperaturas y posterior extracción con solvente por inmersión a temperatura ambiente, consiguiendo buenos resultados en cuanto a rendimiento, pero la calidad del aceite resultó afectada debido a las altas temperaturas a la cual se sometió la muestra. Debido a esto, en esta investigación se optó por la extracción con solventes utilizando el método soxhlet, tal como se describe en el trabajo de Trevejo y Maury (2002).

Fanali *et al.* (2011), realizaron la caracterización química de una muestra de aceite de sacha inchi cultivado en Perú, encontrando que el 93% del total de ácidos grasos del aceite son insaturados, de los cuales aproximadamente 56% corresponden a ácido linoleico y 36% a ácido linolénico, además encontraron importantes cantidades de tocoferoles y compuestos polifenólicos, considerando tales autores que el aceite de sacha inchi puede ser utilizado en la elaboración de suplementos alimenticios. Los resultados anteriores concuerdan con los reportados por Guillen *et al.* (2003), quienes encontraron un alto grado de insaturación en el aceite de sacha inchi, por lo que se asemeja en sus características al aceite de linaza.

Respecto a investigaciones con sacha inchi realizadas en Colombia, Gutiérrez *et al.* (2011), estudiaron la composición química de las semillas de sacha inchi y las características de su fracción lipídica, trabajando con muestras procedentes de Florencia (Caquetá). Las semillas fueron ricas en aceite (41.4%) y proteína (24.7%).

El aceite fue extraído con un equipo soxhlet usando una relación 1/7 muestra-hexano. La composición en ácidos grasos del aceite crudo determinado por cromatografía de gases reveló un alto grado de insaturación (90.34%) destacándose el ácido linolénico (50.8%) seguido del ácido linoleico con 33.4%. Entre los ácidos grasos saturados el más significativo fue el ácido palmítico con 5.61%. Las características físicas y químicas mostraron ser similares a los de otros aceites vegetales comestibles.

En su tesis de maestría, Guillermo Sánchez (2012) realizó la caracterización y cuantificación de los ácidos grasos omega 3 y omega 6 presentes en el aceite de sachá inchi, determinando además el perfil lipídico, índices de calidad, estabilidad oxidativa y actividad antioxidante del aceite y comparándolo con aceites de linaza y ajonjolí. Como resultados se encontró un buen contenido de ácido grasos poliinsaturados del tipo omega-6 (63.24%) y omega-3 (17.72%), unos índices de calidad entre los rangos establecidos y una actividad antioxidante media con respecto a los aceites de linaza y ajonjolí. Por otro lado, el aceite de sachá inchi mostró una muy buena estabilidad oxidativa.

4. ABORDAJE METODOLÓGICO

La investigación se desarrolló a nivel experimental en el laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo, ubicado en el municipio de Mocoa (Putumayo) y en los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño, ubicados en el municipio Pasto (Nariño).

La metodología se realizó en dos etapas: la primera consistió en la obtención del aceite de sachá inchi a partir de la torta residual, mediante extracción soxhlet usando hexano como solvente, y la segunda en el análisis del aceite en base a sus propiedades físicas y composición química haciendo referencia a los ácidos grasos insaturados y colesterol presentes.

4.1 Caracterización de la semilla de sachá inchi.

Se recolectaron semillas propias del departamento del Putumayo (Figura 3), más exactamente del municipio de Puerto Caicedo, donde existen no solo cultivos del producto, sino que también se lleva a cabo la extracción de su aceite por prensado, en la empresa “Almendra Amazónica Sachá Inchi”.



Figura 3. Semilla y Almendra de Sacha Inchi. Fuente: Autor.

La caracterización bromatológica de la semilla se realizó mediante métodos estándar para análisis químico de alimentos, utilizados por el Laboratorio de Bromatología de la Universidad de Nariño, los cuales están basados en las técnicas de La Asociación de las Comunidades Analíticas (AOAC), como se describen a continuación:

Humedad: Corresponde al contenido de agua presente en la muestra. Se determinó por el método de secado en dos pasos, un secado parcial a 65°C, seguido de un secado total a 105°C hasta peso constante (AOAC, 1997).

Cenizas: Se evaluó por el método de incineración en mufla, en el que la materia orgánica se quema y la materia inorgánica remanente se enfría y pesa (AOAC, 1997).

Grasa: El contenido de lípidos totales se realizó de acuerdo con un procedimiento de extracción por el método soxhlet (AOAC, 1997).

Fibra cruda: El método empleado para la determinación consistió en efectuar dos digestiones. La primera con ácido sulfúrico y la segunda con hidróxido de sodio. La finalidad del método es la de eliminar las proteínas, carbohidratos solubles, residuos de grasas, vitaminas y otros compuestos diferentes que interfieren en su determinación. El fundamento del método es asemejar este proceso al que desempeña el organismo en su función digestiva (AOAC, 1997).

Proteína cruda: Se cuantificó por el método de Kjeldahl ($\% \text{ proteína} = \% \text{N} \times 6,25$), fundamento en tres pasos: digestión de la muestra con ácido sulfúrico concentrado, en presencia de un catalizador a elevada temperatura, para transformar el nitrógeno en sulfato de amonio. La solución se alcaliniza y el amoniaco librado se destila para su posterior titulación (AOAC, 1997).

Minerales: Se identificó las cantidades de calcio, fosforo, azufre magnesio, potasio, hierro, manganeso, zinc y cobre por método de oxidación húmeda mediante técnica espectrofotométrica (AOAC, 1997).

4.2 Caracterización de la torta de sachá inchi.

La semilla de sachá inchi se sometió a un proceso de extracción de su aceite por prensado, obteniéndose la torta que se muestra en la figura 4.



Figura 4. Torta de Sachá Inchi. Fuente: Autor.

Esta torta fue caracterizada a través de un análisis bromatológico, en los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño, de la misma manera como se describió anteriormente para el caso de la semilla de sachá inchi.

4.3 Extracción de aceite a partir de la torta residual de sachá inchi.

La muestra de torta residual que se utilizó para esta la investigación fue deshidratada a una temperatura de 70°C en un equipo deshidratador de alimentos a gas marca DI AINOX, de dimensiones 70 cm de ancho, 85 cm de fondo y 180 cm de alto, como se indica en la figura 5. La torta se llevó hasta una humedad final de 10%, verificando dicho valor en un horno marca selecta modelo 202A de 110 V y 1000 W. Este proceso mejora el rendimiento de la extracción y no afecta la composición del aceite.



Figura 5. Deshidratación de la torta de sachá inchi y determinación del contenido final de humedad. Fuente: Autor.

La torta que se genera después del proceso de prensado se sometió a una extracción con solventes, una técnica que consiste en usar un líquido capaz de disolver otra sustancia para separar o retirar compuestos, en este caso aceite vegetal.

Como solvente se utilizó n-hexano, el cual se usa en la industria para la extracción de aceites comestibles. La investigación se enfocó en el manejo de dos variables, el tiempo de extracción y la relación muestra/solvente, sin obviar que de acuerdo a previas investigaciones la temperatura debe permanecer alrededor de 75°C ya que de lo contrario afectaría la calidad de los ácidos grasos extraídos, en especial los omega 3, 6 y 9 (Coulson y Richardson, 1998). Dado que la temperatura de ebullición del hexano es de 69 °C, y el proceso de extracción se hizo a presión atmosférica, ésta fue la máxima temperatura alcanzada en el proceso. Los tiempos de extracción que se evaluaron fueron 1, 2 y 3 horas, determinándose el rendimiento en cada caso de acuerdo a la cantidad del aceite extraído. Las relaciones muestra/solvente que se evaluaron fueron 1:1, 1:2 y 1:3. El montaje usado se muestra en la figura 6. Cabe recordar que gracias a este método se logró recuperar el solvente.



Figura 6. Solvente y montaje soxhlet. Fuente: Autor.

En la figura 7 se muestra el aceite que se obtiene de la torta residual de sachá inchi mediante el método soxhlet.



Figura 7. Aceite extraído de la torta residual de sachá inchi. Fuente: Esta Investigación.

4.4 Diseño experimental

Para la evaluación del proceso de extracción del aceite de la torta residual de sachá inchi se utilizó un diseño experimental factorial como se muestra en tabla 1, donde los factores experimentales fueron la relación muestra/solvente y el tiempo de extracción. Como variable de respuesta se evaluó el rendimiento de extracción (en porcentaje). Para determinar el error experimental se realizaron tres ensayos en el punto central, que sumados con los cuatro (4) del diseño experimental da un total de 7 ensayos, los cuales se realizaron por triplicado y de forma completamente aleatoria. La matriz experimental se presenta en la tabla 2.

Tabla 1. Diseño experimental

Variables experimentales	Nivel inferior (-1)	Nivel central (0)	Nivel Superior (+1)
muestra/solvente (m/m)	1:2	1:4	1:6
Tiempo (min)	60	120	180

Tabla 2. Matriz de diseño experimental

Nº Ensayo	muestra/solvente nivel codificado	muestra/solvente nivel real (m/m)	Tiempo nivel codificado	Tiempo nivel real (min)
1	-1	1:2	-1	60
2	+1	1:6	-1	60
3	-1	1:2	+1	180
4	+1	1:6	+1	180
5	0	1:4	0	120
6	0	1:4	0	120
7	0	1:4	0	120

4.5 Análisis del aceite extraído de la torta residual de sachá inchi

La composición de los aceites extraídos de la torta de sachá inchi se analizaron mediante cromatografía de gases, donde se determinó de manera cualitativa y cuantitativa, los componentes presentes en las diferentes muestras dependiendo de cada tratamiento.

La muestra de aceite se derivatizó empleando una mezcla de metanol:ácido clorhídrico (5% v/v) en baño de agua a 50°C. Los ésteres metílicos de ácidos grasos fueron extraídos con n-hexano grado HPLC (Fisher, USA) para el análisis por cromatografía de gases. La identificación de los compuestos se realizó por comparación de tiempos de retención con los de estándares de ácidos grasos metil

esteres (Alltech, Bellefonte) analizados a las mismas condiciones. Las condiciones para este análisis fueron: cromatógrafo de Gases SHIMADZU GC-17 A; Columna Capilar DB-WAX (J&W AgilentScientific. 30m x 0,25mm ID 0,25µm) y Detector FID Temperatura: 280°C. Inyección a 250°C modo Split 1:10.

También se evaluaron algunos parámetros físicos importantes para determinar la calidad del aceite extraído como fueron:

Índice de acidez: El método utilizado es la NTC 218, bajo la técnica volumétrica. Parámetro indicativo de la calidad y grado de refinación de un aceite, que expresa la presencia de ácidos grasos libres y se mide en miligramos de hidróxido de potasio (mg KOH/g) o porcentaje de ácido oleico (Pearson, 1993).

Índice de peróxidos: Se evaluó con la NTC 236. Expresa el grado de oxidación inicial de un aceite, y se mide en miliequivalentes de oxígenos activo por kilogramo de grasa. Un aceite se considera rancio e incomedible cuando su índice de peróxido supera los 5 miliequivalentes (Pearson, 1993).

Índice de saponificación: El valor de saponificación de un aceite indica la aptitud de la misma para ser convertida en jabón. Se tuvo como referencia la NTC 335. Se representa como los mg de KOH necesarios para saponificar 1 gr de grasa o aceite. Es una medida para calcular el peso molecular promedio de todos los ácidos grasos presentes (Pearson, 1993).

Densidad: se utilizó como método el picnómetro a través de la técnica gravimétrica (Pearson, 1993).

Índice de refracción: se evaluó, mediante la técnica refractométrica, con el método planteado en la NTC 289 (Pearson, 1993).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Características fisicoquímicas de la semilla y del aceite de sachá inchi

La semilla y aceite de sachá inchi pueden presentar variaciones en sus características fisicoquímicas de acuerdo a su ecotipo, condiciones agroecológicas de producción y al manejo postcosecha. En el municipio de Puerto Caicedo y en general el departamento del Putumayo aún no se conoce investigaciones publicadas donde se haya caracterizado semilla, aceite o torta residual de este producto.

5.1.1 Semilla de sachá inchi. En la tabla 3, se muestra las características físicas de la semilla y almendra del sachá inchi encontradas en este estudio y las reportadas por CENTRO DE PROMOCION DE LA BIODIVERSIDAD AMAZONICA - PROMAMAZONIA (Perú).

Tabla 3. Características físicas de la semilla y almendra de sachá inchi.

Característica	Este estudio		PromAmazonía	
	Almendra	Semilla	Almendra	Semilla
Espesor (mm)	7,6	9,5	8,0	10
Diámetro (mm)	18	20	15	18
Peso (g)	0,8	1,2	0,8	1,2
Color	Crema	Marrón	crema	Marrón

El diámetro y espesor, compensan en tamaño el peso para que este valor coincida en las dos semillas. El rendimiento de obtención de la almendra (descascarillado o trillado) como operación preliminar a la obtención de su aceite, fue de 68.7%, muy próximo a los reportados por Promamazonia (79.7%) y por Gorriti (2013) (67%). Dicho parámetro se evaluó en las instalaciones del laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo y su operación fue de forma manual como se indica en la figura 8, obteniendo a partir de la semilla tanto la almendra destinada para la extracción de aceite, como la cascarilla de sachá inchi que no tiene hasta el momento ningún aprovechamiento.



Figura 8. Semillas, almendras y cáscaras de sachá inchi. Fuente: Autor.

En cuanto a la composición fisicoquímica de la semilla, se encontraron los resultados que se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Composición fisicoquímica de semilla de sachá inchi.

Parámetro	Unidad de Medida	Cantidad (base húmeda)
Humedad	g/100g	5,21
Materia Seca	g/100g	94,8
Ceniza	g/100g	2,43
Extracto Etéreo	g/100g	37,9
Fibra Cruda	g/100g	29
Proteína	g/100g	22,7
Extracto no nitrogenado	g/100g	2,7
Energía	kcal/100g	630
Lignina	g/100g	2,58
Celulosa	g/100g	8,15
Hemicelulosa	g/100g	6,86
Calcio	g/100g	0,35
Fosforo	g/100g	0,44
Magnesio	g/100g	0,25
Potasio	g/100g	0,48
Azufre	g/100g	0,16
Hierro	mg/Kg	1082
Manganeso	mg/Kg	34
Zinc	mg/Kg	51,5
Cobre	mg/Kg	13

El valor de humedad encontrado se ajusta al necesario para realizar y facilitar la operación de extracción de aceite independientemente del proceso que se aplique bien sea por prensado o por extracción con solventes (Pearson, 1993), pues entre menor sea el valor más eficiente será el rendimiento.

El contenido de aceite presente en la semilla que se produce en el municipio de Puerto Caicedo (Putumayo) fue de 37.9%, menor que el encontrado en estudios previos donde se citan valores que varían entre 35 – 60% (Guillen et al. 2003). Sin embargo el contenido de aceite encontrado en esta investigación es próximo al encontrado por Gutiérrez et al. (2011) en semillas procedentes del Departamento de Caquetá. La diferencia en el contenido de aceite en la semilla y composición de constituyentes químicos puede atribuirse a la alta diversidad genética de sachá inchi, los cambios climáticos y geográficos, tratamientos durante la cosecha de semillas: tiempo, temporada, almacenamiento, lugar de crecimiento y los métodos de extracción (Gorriti, 2013).

El contenido de proteína encontrada en el sachá inchi del municipio de Puerto Caicedo fue 22.7%, valor levemente inferior al encontrado por Gutiérrez et al. (2011) que fue de 24,7%.

El parámetro fibra tuvo un valor de 17% mayor al 12% encontrado por Pascual y Mejía (2000). Este porcentaje se compara favorablemente con otros granos nutricionales como el trigo (14%), arroz (8,5%), avena (15,3%), cebada (9,2%) (Ruiz, 2008).

En cuanto a lignina, celulosa y hemicelulosa no se encuentran reportados datos para realizar una comparación, sin embargo una de las semillas oleaginosas de mayor concentración de estos componentes, es la linaza (Miller, 2007), por ejemplo en el caso de la lignina es de 2,6%, mientras que para la semilla de sachá inchi utilizada se encontró un valor de 2,58%, lo cual permite optar por diferentes opciones para su manejo, pues es un valor significativo en semillas de este tipo.

En lo referente a la cantidad de minerales, la cantidad de potasio encontrado en las muestras analizadas (480 mg/100 g) fue inferior al reportado en otros estudios (586.87 - 1115.54 mg/100 g) (Gorriti, 2013), mientras que el contenido de calcio (350 mg/100g) fue superior al encontrado previamente (50.51 - 105.94 mg/100g). En cuanto al magnesio el contenido de las muestras analizadas (250 mg/100g) se encuentra dentro del rango hallado previamente (211.78 - 340.15 mg/100g) (Gorriti, 2013).

En la tabla 5 se presenta una comparación de las cantidades de proteína y aceite total de sachá inchi frente a los de otras semillas oleaginosas. Se puede observar que el contenido de aceite del sachá inchi es superior al de la soya y algodón y se asemeja al del maní y girasol. Cabe resaltar que, como se mencionó previamente, la composición química de una semilla depende de su ecotipo y de muchos factores productivos.

Tabla 5. Contenido de proteína y aceite en sachá inchi y otras oleaginosas.

Nutriente (%)	Sacha Inchi	Soya	Maní	Girasol	Algodón
Proteína	29	28	23	24	32.9
Aceite total	35-54	19	45	48	16

Fuente: Haseen y Stoewesand (1980).

5.1.2 Aceite de sachá inchi. El análisis de los parámetros de calidad del aceite extraído de la torta residual de sachá inchi se presenta en la tabla 6, en comparación con los resultados obtenidos en el estudio de Pascual y Mejía (2000).

Tabla 6. Análisis físico-químico del aceite crudo de sachá inchi

Parámetro	Unidades	Este estudio	Pascual y Mejía (2000)
Acidez	g/100g	0,77	1,28
Índice de peróxido	meq H ₂ O ₂ /Kg	7,59	4,14
Índice de saponificación	meq KOH/g	189	230
Índice de yodo	g/100g	156	189
Peso específico	g/mL	0,93	0,93
Índice de refracción		1,479	1,480

La acidez encontrada en el aceite de sachá inchi fue baja y cumple con los parámetros de Asociación de Productores Industriales para la Comercialización de Productos del sachá inchi que establece un máximo de 1 g/100 g.

El índice de peróxido se relaciona con el progreso de la descomposición autooxidativa de un aceite, por lo que cuanto más bajo este índice mejor es la calidad de un aceite. En el Codex alimentarios se acepta un índice de peróxido máximo de 10 meq H₂O₂/Kg de aceite, en este aceite se puede observar que el nivel de rancidez es bajo, a pesar de la alta insaturación y de tratarse del aceite extraído de la torta, que es un residuo de la extracción por prensado.

El índice de saponificación de un aceite está relacionado con su peso molecular medio, el valor encontrado para el aceite de sachá inchi procedente del Putumayo fue 189 meq KOH/g, menor que el reportado por Pascual y Mejía (2000).

El índice de iodo encontrado en el aceite de sachá inchi crudo fue bastante bajo, lo que se explica por su alta cantidad de ácidos grasos polinsaturados, lo que lo asemeja a los aceites extraídos de peces marinos, que son muy recomendables para la salud.

El aceite de sachá inchi contiene un índice de refracción ligeramente alto (1,479) en comparación a los diferentes aceites y grasas comerciales. Los índices de refracción tanto de grasas como de ácidos grasos, aumentan conforme aumenta la longitud de las cadenas de hidrocarburos y el número de enlaces dobles de las cadenas, lo que podría indicar que el aceite de sachá inchi es altamente insaturado y que existe gran cantidad de cadenas de ácidos grasos largos, esto se corrobora con los resultados

encontrados en la composición de ácidos grasos (tabla 7), donde se muestra que el aceite tiene una alta cantidad de ácidos linolénico y linoléico en su composición.

En la tabla 5 se presentan los resultados del análisis de composición de ácidos grasos del aceite extraído de la torta residual de sachá inchi.

Tabla 7. Ácidos grasos presentes en el aceite de sachá inchi

Ácido graso	Este estudio (%)	Gutiérrez <i>et al.</i> (2011)
Acido Palmítico	6,3	4,4
Acido Esteárico	2,1	2,4
Ácido Oleico	9,7	9,1
Ácido Linoléico	32,8	33,4
Ácido Linolénico	48,1	50,8

Como se observa en la tabla 5, el aceite de sachá inchi es muy rico en ácidos grasos poliinsaturados linolénico (48,1%) y linoléico (32,8%), mientras que las cantidades de ácidos grasos monoinsaturados (oleico) y saturados (palmítico y esteárico) solo son de 9,7% y 8,4% respectivamente. Los valores encontrados en este estudio fueron muy similares a los encontrados por Gutiérrez *et al.* (2011) en el aceite de sachá inchi procedente del departamento del Caquetá. Las diferencias pueden ser atribuidas a las diferentes subespecies, condiciones climáticas, edafológicas, época de cultivo y métodos de extracción y análisis. Debido a su composición, el aceite de sachá inchi podría ser utilizado como fuente de ácidos grasos esenciales en la elaboración de suplementos alimenticios, que contribuyen a prevenir enfermedades cardiovasculares.

También se analizó el contenido de colesterol en las muestras de aceite de sachá inchi mediante cromatografía de gases y no se detectó presencia del mismo.

5.2 Torta de sachá inchi.

Los resultados del análisis de composición de la torta de sachá inchi se presentan en la tabla 8. Como se puede observar, la torta obtenida después del proceso de extracción del aceite de sachá inchi por método de prensado en frío contiene alta cantidad de proteína (59.1%) y grasa (6.93%) en base seca, y surge como una alternativa de la torta de soja en la elaboración de alimentos concentrados para alimentación animal, pues la actividad avícola y pecuaria importa miles de toneladas de torta de soja al año.

Tabla 8. Composición química de la torta de sachá inchi.

Parámetro	PromAmazonía		Este estudio	
	Base seca (%)	Base húmeda (%)	Base seca (%)	Base húmeda (%)
Humedad	0	0,59	0	0,69
Proteína Total	57,26	58,71	59,13	58,70
Grasa Cruda	9,86	6,88	6,93	6,90
Fibra Cruda	16,29	17,18	17,30	17,20
Ceniza	9,25	8,65	8,72	8,65
Carbohidratos	6,98	7,86	7,91	7,90

La cantidad de aceite existente en la torta de sachá inchi que se tomó como muestra para el desarrollo de este estudio fue de 6.9%, porcentaje relativamente alto en caso de tratarse de una industria que procese altas cantidades de materia prima, por lo cual podría ser económicamente viable implementar un proceso para la recuperación del aceite que queda en esta torta residual.

5.3 Extracción de aceite a partir de la torta de sachá inchi.

Los resultados de la aplicación del diseño experimental en el proceso de extracción del aceite a partir de la torta residual de sachá inchi mediante el método soxhlet se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados del análisis del proceso de extracción del aceite de la torta de sachá inchi.

Ensayo	muestra/solvente	Cantidad de Solvente (g)	Tiempo (h)	Rendimiento (%)	Desviación estándar*
1	1:2	40	3	25,2	2,24
2	1:6	120	3	84,3	2,56
3	1:2	40	5	27,4	2,33
4	1:6	120	5	86,5	3,01
5	1:4	80	4	58,1	2,68
6	1:4	80	4	61,2	2,51
7	1:4	80	4	60,4	2,89

*Desviación estándar de 3 ensayos realizados en las mismas condiciones

Los resultados obtenidos en los ensayos se analizaron con el programa Statgraphics Centurión XV. El análisis de varianza se presenta en la tabla 10.

Tabla 10. Análisis de varianza para la extracción del aceite de la torta residual de sachá inchi

Fuente de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	Valor F	Pr >F
Modelo	4	1,081	8,2516	201,57	<0,0001
Error	16	0,0073	0,00046		
Total (Corr.)	20	1,0879			
Solvente	1	1,07021	1,07021	2346,87	<0,0001
Tiempo	1	0,001229	0,001229	2,70	0,1201
Solvente*tiempo	1	0,00000	0,00000	0,0	1,000

R-cuadrado = 0,99

Como se puede observar, el p-valor para el modelo es $< 0,0001$, lo que indica que es altamente significativo, o sea que se rechazaría la hipótesis nula de la no influencia de los factores incluidos en el modelo, en otras palabras, que los factores experimentales relación muestra/solvente y el tiempo de extracción tienen un efecto significativo sobre el rendimiento de extracción del aceite. El R^2 obtenido es muy alto ($R^2 = 0,99$), lo que significa que el modelo explica un 99% de la variación de la variable independiente (rendimiento de extracción de aceite).

En la segunda parte de la tabla se observa que la relación muestra/solvente tiene un p-valor $< 0,0001$, o sea que es altamente significativo, en otras palabras, que existen diferencias significativas en el rendimiento de extracción de aceite según la relación utilizada. Lo anterior podría explicarse por el hecho de que una mayor cantidad de solvente evita la saturación del solvente con el extracto (el aceite), lo que incrementa la eficiencia de la extracción. El p-valor para la variable tiempo en los niveles estudiados (3 a 5 horas) no tuvo efecto significativo sobre el rendimiento de extracción, lo que indica que posiblemente un tiempo inferior de 3 horas sea suficiente para realizar el proceso de extracción del aceite de la torta de sachá inchi. La interacción entre la relación muestra/solvente y el tiempo de extracción no tuvo efecto significativo sobre el rendimiento.

Como se puede apreciar en la tabla 9, los mejores rendimientos de extracción del aceite se consiguieron al emplear una relación muestra/solvente de 1:6 y, dado que el tiempo no tuvo efecto significativo, por motivos económicos sería recomendable trabajar con el menor tiempo de extracción evaluado que fue de 3 horas.

6. CONCLUSIONES

La semilla de sachá inchi proveniente del municipio de Puerto Caicedo (Putumayo) se caracteriza por poseer un alto contenido de aceite (38%) y de proteína (22,7%), con un perfil en el que predominan los ácidos grasos insaturados (81%), razón por la cual el aceite de sachá inchi podría ser utilizado como fuente de ácidos grasos esenciales en la elaboración de suplementos alimenticios, similar al uso que se le da en Perú según la información de Promamazonia, donde el aceite extraído de la semilla tiene diferentes usos y aplicaciones; como el medicinal en la elaboración de un alimento funcional; en cosmetología como base natural para cosméticos orgánicos naturales, rejuvenecedores de la piel; de forma comestible en productos como: margarina, mayonesa, ensaladas aceite de mesa, salsa de ají, quesos, pescado y enlatados, en el sector industrial en pomadas, velas, pasta para zapatos, pinturas, tinta, plásticos, adhesivos, linazas, brilladores de metal, barnices de madera, crema de afeitar, shampoos, blanqueadores, aceites para lanificación, lubricantes y en iluminación.

La cantidad de aceite remanente en la torta de sachá inchi proveniente del municipio de Puerto Caicedo después del proceso de extracción por prensado, permitiría realizar una segunda extracción mediante solventes, con el fin de aprovechar este subproducto, ya que en este estudio se demostró que se pueden alcanzar rendimientos de hasta un 86%, sin afectar la calidad del aceite.

Dada la alta cantidad de proteína (59%) presente en la torta residual de sachá inchi, que en comparación al porcentaje de la torta de soya (46%) es mayor, por lo tanto pueden buscarse alternativas para su aprovechamiento después de la extracción total del aceite, en procesos como la panificación en general, alimentos dietéticos, alimentos para niños y ancianos, base de diversos platos (guisos, sopas, salsas, bebidas proteicas) al igual que en Perú como lo indican empresas como Promamazonia que además hablan de un uso en Alimento para animales como vacunos, aves porcinos, ovinos, caprinos, cuyes, conejos, etc.

El análisis del proceso de extracción por solventes del aceite remanente en la torta de sachá inchi mostró que la relación muestra/solvente influye significativamente en el rendimiento de extracción, siendo mayor cuando dicha relación es 1:6, además se observó que el tiempo no tuvo efecto significativo en el rendimiento, por lo cual no se justifica emplear tiempos de extracción superiores a 3 horas.

La relación costo/beneficio es muy difícil calcularlo a través de este estudio, pues este trabajo se realizó a nivel experimental y por lo tanto este aspecto sale del alcance de los objetivos planteados. Cualquier estimación de costos que se haga con base en datos de laboratorio resultaría poco confiable. Para hacer una estimación de costos aproximada se tendría que evaluar el proceso en un equipo a nivel semi-industrial o industrial, para determinar rendimientos, consumos de

energía, solventes, mano de obra, etc., además de los costos del equipo y su instalación y con ello evaluar los beneficios con base en la cantidad de aceite recuperado.

BIBLIOGRAFÍA

Association of Official Analytical Chemists. A.O.A.C (1997). *Manual of Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Sixteenth edition. USA.

Agroindustrias Amazónicas. *Inca Inchi Oil*. Disponible en: <http://www.incainchi.com.pe/inca.htm>. [Consultado julio 15, 2013].

Aire, Y. y Taipe, K. (2011) *Elaboración y caracterización de bebida esterilizada a partir de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.)*. Perú.

Álvarez, L. y Ríos, S. (2009) *Estudio de viabilidad económica del cultivo de Plukenetia volubilis Linneo, sachá inchi, en el departamento de San Martín*. Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana. Serie: Avances Económicos N° 3. Perú.
Arévalo G. (1995). *El cultivo del sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) en la Amazonía. Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología - PRONARGE, Estación Experimental El Porvenir – Tarapoto, Perú*.

Centro De Promoción De La Biodiversidad Amazónica “PROMAMAZONIA”. Disponible en: <http://www.iiap.org.pe/promamazonia/sbiocomercio/Upload/Lineas/Documentos/540.pdf>. [Citado el 27 de julio de 2013].

Coronas, R. (1998). *Manual práctico de dietética y nutrición*. Barcelona: Ed. Medica JIMIS, S. L.

Coulson, J. y Richardson, J. (1998) *Ingeniería química. II. Operaciones unitarias*. USA: Pergamon Press.

Duran, F., Duran, E. y Guerrero, K. (2008). *Ciencia, tecnología e industria de alimentos*. Perú: Grupo latino editores.

Fanali, C., Dugo, L, Cacciola, F., Beccaria, M., Grasso, S. y DACHÀ M. (2011). *Chemical characterization of sachá inchi (Plukenetia avolubilis L.) oil*. Journal of Agricultural and Food Chemistry.

Garazatúa, G. (1999). *El cultivo del sachá inchi (Plukenetia volubilis L.) en la amazonia. Investigador Agrario, Programa Nacional de Investigación en Recursos*

Genéticos y Biotecnología – PRONARGE B. Estación Experimental El Porvenir – Tarapoto.

García, A., Meneses, M. y Pérez, M. (2009). *Omega – 3 y enfermedad cardiovascular*. España.

García, H. (1992). *Resumen de investigaciones apoyadas por Fundeagro 1988-1992*. Tomo I. Proyecto de transformación de la tecnología agropecuaria. TTA. Lima.

Gobernación Del Putumayo, Secretaria De Agricultura. (2008). *Evaluación Agrícola Departamental por Municipios con Énfasis Agroindustrial*.

Gorriti, A. (2013). *Monografía: Sacha inchi (Plukenetia volubilis L.)*. Proyecto Perú Biodiverso.

Guillen M., Ruiz, A., Cabo, N., Chirinos, R. y Pascual, G. (2003). *Characterization of sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) oil by FTIR spectroscopy and H-1 NMR*. J Am Oil Chem Soc. Genomics journal.

Gutiérrez, L., Rosada, L. y Jiménez, A. (2011). *Composición química de las semillas de sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) y características de su fracción lipídica. Grasas y Aceites*.

Hamaker, B., Valles, C., Gilman, R., Hardmeier, R., Clark, D., Garcia, H., Gonzales, A., Kohlstad, I., Castro, M., Valdivia, R., Rodriguez, T., Lescano, M. (1992). *Amino acid and fatty acid profiles of the Inca Peanut (Plukenetia Volubilis)*. Cereal Chem.

Hazen. y Stoewesand. (1980) *Resultados de análisis del aceite y proteína del cultivo de sacha inchi*. Universidad de Cornell. USA.

Instituto Nacional De Investigación Agraria. *Banco de germoplasma-sacha inchi*. Disponible en: <<http://www.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/inia/inia-t1/INIA-T1.HTM#TopOfPage>>. [Citado el 15 de mayo de 2013].

Instituto De Investigaciones De La Amazonía Perú. (2009). *Estudio de viabilidad económica del cultivo de plukenetia volubilis linneo, sacha inchi, en el departamento de San Martín*. Perú.

Ministerio De Agricultura. (2002). *Estadística Agraria Trimestral. Sistema de Información Agraria (SIAG)*.

Miller, D.(2007). *Química de Alimentos*. Mexico: Limusa Wiley. 2007.

Núñez, C. EXTRACCIONES CON EQUIPO SOXHLET. Disponible en: <<http://www.cenunez.com.ar/archivos/39-extraccinconequiposoxhlet.pdf>> [citado el 5 de julio de 2013]

Olivas, A. (2007). *Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.). Programa Para el Desarrollo de la Amazonia "Proamazonia" Cultivo de Sacha Inchi*. Ministerio de agricultura marzo. Perú.

Pascual, G., Mejía, M. (2000). *Extracción y caracterización de aceite de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.)*. Universidad Nacional Agraria de La Molina. Perú.

Pearson. D. (1993). *Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos*. España: Acribia, S.A.

Ruiz, C., Díaz, C., Anaya, J. y Rojas, R. (2008). *Análisis Proximal, Antinutrientes, Perfil de Ácidos Grasos y de Aminoácidos de Semillas y Tortas de 2 Especies de sachá Inchi (Plukenetia volubilis y Plukenetia huayllabambana) CIED (Centro de Investigación, Educación y Desarrollo)*. Perú.

Sánchez, G. (2013). *Caracterización y cuantificación de los ácidos grasos omega 3 y omega 6 presentes en el aceite de sachá inchi (Plukenetia volubilis L.)*. Tesis de Maestría en Ciencias Químicas. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Torres, W., Ponce, A., Otarola, J., Murillo, B. y Zarate, B. (2009). *Aplicación del sachá inchi (Plukenetia Volubilis L.) en la elaboración de mantequilla con alto contenido de omega 3 y evaluación de su aceptabilidad*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Vicerrectorado de Investigación y Asuntos Internacionales. Perú.

Trevejo, E. y Maury, L. (2002). *Extracción y caracterización del aceite de Poraqueiba serícea Tulasne (UMARÍ)*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Perú.

Valles, C. (1992). El sachá inchi, planta nativa de importancia proteica y aceitera promisoría para la Selva Alta. Revista Pura Selva. Vol. VIII. Tingo María. Perú.