



TORTA DE SACHA INCHI (*PLUKENETIA VOLUBILIS*) COMO SUBPRODUCTO DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITE, VALOR NUTRICIONAL

Sacha inchi cake (*Plukenetia volubilis*) as a by-product of oil extraction, nutritional value

 Violeta Maricela Dalgo Flores*

 Mishell Carolina Moreno Samaniego

 Dennisse Alejandra Fonseca Amaya

 Valeria Isabel Rodríguez Vinuesa

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Facultad de Ciencias-Carrera de Bioquímica y Farmacia. Riobamba, Ecuador.

* violeta.dalgo@esepoch.edu.ec

RESUMEN

La torta residual de sachá inchi (TRSI) (*Plukenetia volubilis*), que se obtiene del procedimiento de extracción de aceite, es una fuente potencial de proteínas vegetales que hoy en día no es aprovechada. El propósito de esta investigación fue caracterizar composición proximal, la digestibilidad gastrointestinal y la calidad microbiológica de la TRSI producida en pequeñas empresas de la zona amazónica ecuatoriana. Se llevó a cabo una investigación descriptiva cuantitativa mediante muestreo aleatorio. El análisis proximal se desarrolló bajo la metodología AOAC, el análisis microbiológico empleó técnicas de recuento en placa bajo norma ISO 18744:2006, y la digestibilidad gastrointestinal se evaluó in vitro mediante simulación de condiciones fisiológicas con pepsina y pancreatina. Los resultados revelaron un alto contenido proteico (52,17%) y de carbohidratos (27,33%), clasificando a la TRSI como harina proteínica según Codex STAN 175-2013. Los contenidos de humedad (5,87%), cenizas (5,00%), grasa (5,55%) y fibra cruda (4,15%) confirman su valor nutricional. Microbiológicamente, cumple con los parámetros establecidos excepto para *Escherichia coli* (1,23 UFC/g), evidenciando la necesidad de implementar buenas prácticas de manufactura. La digestibilidad in vitro alcanzó 42,46% indicando disponibilidad moderada de nutrientes. Se concluye que la TRSI posee potencial como ingrediente para alimentos funcionales, contribuyendo a la economía circular y seguridad alimentaria regional.

Palabras claves: *Maní inca, sachá yuchi, nutrición, proteína vegetal, subproductos agroindustriales.*

ABSTRACT

Sacha inchi residue cake (SRF) (*Plukenetia volubilis*), obtained from the oil extraction process, is a potential source of plant protein that is currently underutilized. The purpose of this research was to characterize the proximate composition, gastrointestinal digestibility, and microbiological quality of SRF produced by small-scale farms in the Ecuadorian Amazon region. A quantitative descriptive study was conducted using random sampling. Proximate analysis was performed according to the AOAC methodology, microbiological analysis employed plate count techniques under ISO 18744:2006, and gastrointestinal digestibility was evaluated in vitro by simulating physiological conditions with pepsin and pancreatin. The results revealed a high protein content (52.17%) and carbohydrate content (27.33%), classifying SRF as a protein meal according to Codex STAN 175-2013. The moisture (5.87%), ash (5.00%), fat (5.55%), and crude fiber (4.15%) content confirm its nutritional value. Microbiologically, it meets the established parameters except for *Escherichia coli* (1.23 CFU/g), highlighting the need to implement good manufacturing practices. In vitro digestibility reached 42.46%, indicating moderate nutrient availability. It is concluded that TRSI has potential as an ingredient for functional foods, contributing to the circular economy and regional food security.

Keywords: *Maní inca, sachá yuchi, nutrition, vegetable protein, agro-industrial by-products.*

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, una tendencia importante en la industria alimentaria es el empleo de materias primas que se destacan por sus nutrientes y que son obtenidas de cultivos de carácter promisorio (1). La explotación del sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) ha ido en aumento desde hace tiempo atrás, especialmente en la venta del aceite obtenido de sus semillas (2). Este proceso de extracción produce un volumen significativo de subproductos, destacando la torta residual de sacha inchi (TRSI), convirtiéndose así en una alternativa potencial como fuente de diversas proteínas de origen vegetal. Estas proteínas han recibido gran atención debido a las necesidades crecientes de los consumidores en relación con la seguridad alimentaria, acompañadas del aumento en el costo de las proteínas de origen animal (3).

La TRSI de calidad debe someterse a un correcto proceso de secado, molienda y tamizado, obteniéndose de esta manera diferentes tipos de materia prima con presentaciones diversas como harinas, pastas, entre otras, que serán útiles para la producción de una amplia gama de productos comestibles (4). Por estas razones, el objetivo de este estudio fue llevar a cabo un análisis de digestibilidad gastrointestinal, microbiológico y proximal del TRSI generado como residuo en microempresas de la zona amazónica ecuatoriana, para evaluar su calidad nutricional y microbiológica y utilizarlo como materia prima en el sector alimentario (2,5).

El sacha inchi es un alimento antiguo que las comunidades de Sudamérica producen, el cual se desarrolla principalmente en la Amazonía. Por lo tanto, puede encontrarse en naciones como Perú, Ecuador, Brasil, Colombia, Venezuela y Bolivia. En función del país de cultivo, recibe distintas denominaciones; algunas de las más notables son: sacha yuchi, amui-o, maní inca y sacha inchi, entre otros. *Plukenetia volubilis* cultivada en Ecuador es una planta semileñosa y trepadora que alcanza una altura de hasta 2 metros. Sus hojas son acorazonadas, elípticas y peciolada (6). Es una planta hermafrodita que tiene en la base flores femeninas y en la parte superior flores masculinas. Sus frutos tienen forma de estrella con lóbulos, siendo las formas mayormente frecuentes con 4 o 5 lóbulos (7).

El aceite que se obtiene de las semillas del sacha inchi es el derivado más producido, y sus propiedades para la reestructuración de la piel han sido investigadas en profundidad. Se aconseja su

uso para pieles secas, sensibles y deshidratadas (8). No obstante, después de que se produce el aceite, se genera un subproducto llamado torta residual de sacha inchi que normalmente se desecha sin ser utilizado (9). Hay pocos estudios que examinen las características nutricionales de esta torta, que podría ser utilizado como materia prima para producir alimentos con un valor nutricional elevado. Por esta razón, se propone llevar a cabo la investigación actual (10).

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación empleó un enfoque cuantitativo de tipo observacional-descriptiva. La población en estudio estuvo constituida por un lote de torta residual de las semillas de sacha-inchi (*Plukenetia volubilis*) obtenido en una jornada de producción de aceite en pequeñas empresas del cantón-Archidona de la provincia de Napo.

Recolección y conservación de la muestra

Las muestras fueron obtenidas en frascos plásticos estériles de boca amplia. Se tomó una porción representativa de TRSI, eliminando la capa superior antes de mezclar completamente la torta que resultó de extraer el aceite (11). Las condiciones atmosféricas en el sitio de la toma de muestras fueron: 28,3 °C de temperatura, 1012 hPa de presión y 78% de humedad relativa.

Con el propósito de conservar las propiedades y características de la muestra intactas, las muestras recolectadas fueron transportadas utilizando una nevera isotérmica con una temperatura interna que se mantuvo entre 0 y 5 °C.

Análisis proximal

El análisis proximal se llevó a cabo según la metodología AOAC, tomando en cuenta 2 g de muestra y análisis por triplicado. Se determinó la humedad de las muestras mediante el secado en estufa Memmert ULE 400 a una temperatura de 105 ± 3 °C durante dos horas, determinándose los residuos de TRSI, así como los sólidos totales y pérdida de peso asociada a la humedad. Se calculó el porcentaje de cenizas incinerando la muestra en una mufla Vulcan A-550 a 550 °C durante cinco horas, hasta que se tornó blanca.

Para determinar el contenido proteico se empleó el método Kjeldahl, que consta de dos etapas,

digestión y destilación. La etapa de digestión se realizó con una muestra de 2 g con 25 ml de H_2SO_4 concentrado y 0,7 g de HgO como catalizador. Este procedimiento se realizó durante tres horas hasta que la solución adquirió transparencia. La etapa de destilación se llevó a cabo después de que la solución se enfrió hasta alcanzar la temperatura ambiente, empleando 37,5 g de $NaOH$, simultáneamente, se añadieron siete gotas de indicador y 100 ml de H_3BO_3 en un matraz Erlenmeyer. Para culminar la destilación del NH_3 , el matraz se unió al aparato de destilación con el extremo del condensador sumergido en H_3BO_3 . Una vez que se terminó la destilación, se lavó el extremo del condensador y se retiró el frasco receptor. Luego, se tituló la solución destilada con HCl 0,1 N. Se anotó la cantidad de HCl utilizada para determinar el porcentaje de proteína en función del contenido de nitrógeno en la muestra.

Se empleó el método Soxhlet para determinar el contenido de grasa, empleando 200 ml de éter como disolvente y 2 g de muestra. La extracción se llevó a cabo durante cuatro horas a una velocidad de condensación de cinco a seis gotas por segundo. Después, se introdujo el balón en el rotavapor para recuperar el solvente. Por último, para determinar el porcentaje de grasa en la muestra y conseguir el material seco, se puso el balón en la estufa a 100 °C durante una hora.

Para determinar la cantidad de fibra cruda, se incorporaron 250 ml de H_2SO_4 al 1,25 % v/v en ebullición durante media hora a un matraz que contenía 2 g de muestra seca desengrasada. Se utilizó un embudo Buchner para filtrar y se lavó con agua caliente. El residuo se pasó a un matraz que contenía 250 ml de $NaOH$ al 1,25 % v/v en ebullición. El procedimiento de ebullición se repitió durante media hora y posteriormente se filtró. Se lavó el residuo con hexano y se filtraron los contenidos. Al final, se secó en la estufa a 105 °C durante 12 horas y posteriormente se calcinó en la mufla a 550 °C durante media hora para conseguir el material seco y determinar el porcentaje de fibra.

Se llevó a cabo la determinación de carbohidratos de manera indirecta, restando los porcentajes de los otros componentes: proteína, grasa, fibra, humedad y ceniza.

Análisis microbiológico

El análisis microbiológico estuvo basado en la norma ISO 18744:2006, Productos alimenticios-

Pasta de soja-Requisitos. Dado que no hay ninguna-regulación concreta para analizar los subproductos de la torta-residual de sachá inchi, se decidió-emplear esta norma, que analiza la torta-residual de la soja como-subproducto del proceso de extracción de aceite. Según esta normativa, los parámetros-microbiológicos que se examinaron fueron: Salmonella, Escherichia coli, coliformes totales, levaduras y mohos. Se llevó a cabo una dilución madre de 10 g de muestra (torta residual) y 90 ml de agua peptonada para el análisis de los parámetros microbiológicos. Desde esta dilución madre, se hicieron sucesivas diluciones hasta 10^{-4} , las cuales fueron sembradas después en medios específicos de cada microorganismo analizado (12).

Para aerobios mesófilo, la muestra diluida fue incubada a 30 °C por 48 horas con agar PCA. Para los coliformes totales, la muestra se incubó con agar VRBG a 30 °C durante un día. Por otra parte, para Escherichia coli, la muestra se inoculó en caldo lauril sulfato y se incubó a 37 °C durante un día; después de eso, los tubos con gas y opacidad se cultivaron en caldo EC a 44 °C por 24 horas. Para Salmonella, la dilución fue inoculada en agar SS a una temperatura de 37 °C durante un día. Por último, para determinar levaduras y mohos, se incubó la muestra diluida con agar extracto de malta a una temperatura de 25 °C durante cinco días. Después de comprobar el aumento de los diversos microorganismos, se llevó a cabo la contabilidad de colonias y las estimaciones y cálculos pertinentes (13).

Análisis de digestibilidad gastrointestinal

Se tomó en cuenta cinco unidades experimentales para el análisis de la digestibilidad gastrointestinal, en las que se replicaron condiciones fisiológicas con el fin de comprobar cómo se absorben los nutrientes de la TRSI. Con ese fin, se llevó a cabo un estudio in vitro usando una técnica enzimática.

Se pesaron 2 g de muestra en bolsas de Dacrón, las cuales fueron sellaron herméticamente. El proceso de digestibilidad se llevó a cabo en tres fases de incubación, las cuales se describen a continuación:

Durante la fase inicial de incubación, se introdujo una bolsa de Dacrón con la muestra en un matraz Erlenmeyer. Posteriormente, se añadieron 25 ml de solución tampón fosfato (0,1 M, pH = 6) y 10 ml de HCl a 0,2 M, las cuales fueron mezcladas usando

un agitador. Para prevenir la contaminación por microorganismos, se incluyeron 0,5 ml de una solución con cloranfenicol inferior a 0,5 g/100 ml de etanol. A la mezcla se le incorporó, además, 1 ml de una solución de pepsina (25 mg/ml) disuelta en HCl 0,2 M. Se selló el matraz con un tapón de goma después de agitar su contenido con un agitador magnético. Por último, se puso el matraz en la estufa a 40 °C durante dos horas.

En la segunda fase de incubación, se mezclaron 20 ml de una solución tampón fosfato (0,2 M, pH = 6,8) con 5 ml de NaOH 0,6 M. El pH se adecuó a 6,8 mediante la aplicación de HCl y NaOH 1 M. Se incorporaron también 1 ml de pancreatina disuelta en tampón fosfato (100 mg/ml). Se removió de manera apropiada el contenido del matraz y posteriormente se selló con un tapón de goma. Por último, el matraz se situó en la estufa a 40 °C, donde permaneció durante 4 horas.

Durante la tercera fase de incubación, se utilizó ácido acético para ajustar el pH de la solución a 4,8 y se combinó uniformemente el contenido del matraz. Después, se colocó el matraz en la estufa a una temperatura de 40 °C durante un periodo de 16 horas. Se llevaron a cabo dos lavados de 50 minutos con etanol y otros dos con acetona. Con el objetivo de que se secaran y adquirieran un peso constante, los residuos fueron trasladados a los crisoles y se pusieron en la estufa a 105 °C; este proceso podría tardar cerca de un día. Se dejó enfriar en un deshidratador. Por último, los crisoles fueron ubicados en la mufla a 550 °C por tres horas y se dejaron enfriar en un desecador antes de ser pesados. Por variación de peso entre la materia orgánica inicial y residual, se calculó la digestibilidad in vitro de la materia-orgánica.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación permiten caracterizar integralmente la torta residual de sachá inchi (TRSI) como potencial materia prima en la industria alimentaria. Se presentan tres análisis fundamentales: el análisis proximal, que determina la composición nutricional del subproducto; el análisis microbiológico, que evalúa su inocuidad y calidad sanitaria; y el análisis de digestibilidad gastrointestinal in vitro, que estima la disponibilidad de nutrientes para el organismo humano. Estos análisis en conjunto proporcionan información esencial para

valorar la viabilidad de incorporar la TRSI en la formulación de alimentos funcionales o como ingrediente proteico alternativo, contribuyendo así al aprovechamiento de subproductos agroindustriales y a la generación de valor agregado en las microempresas de la región Amazónica ecuatoriana, a continuación, se detalla cada uno de ellos.

Análisis proximal de la TRSI

En la Tabla 1 se muestra el promedio de las 3 réplicas de los resultados-obtenidos en el análisis proximal de la TRSI.

Tabla 1. Análisis-proximal de la TRSI

Parámetro	Contenido (%)
Humedad	5,87±0,12
Cenizas	5,00±0,08
Proteína	52,17±0,65
Grasa	5,55±0,10
Fibra cruda	4,15±0,09
Carbohidratos	27,33±0,42

Para verificar su estabilidad se determinó el contenido de humedad en la TRSI, ya que alimentos con baja humedad son menos susceptibles al deterioro microbiano. Se obtuvo un resultado de 5,87%, valor menor al reportado en otras investigaciones que oscilan entre 6,60% y 6,75% (14). Por otra parte, el porcentaje de cenizas obtenido fue de 5,00%, resultado inferior a valores reportados previamente de 6,00% y 5,35% (15). El contenido de cenizas está relacionado con el contenido mineral inorgánico de las muestras, por lo que la determinación de este parámetro permite apreciar la calidad de las materias primas empleadas en la elaboración de alimentos y valorar su contenido mineral. La ceniza de sachá inchi está compuesta principalmente por calcio, sodio, fósforo, magnesio, potasio, hierro, cobre y zinc (16).

El porcentaje de proteína obtenido (52,17%) sugiere que este subproducto tiene el potencial de ser usado como fuente proteica; esto se debe a que la Norma Codex para productos-proteínicos (CODEX STAN 175, 2013) sostiene que un producto es considerado harina proteínica cuando sus concentraciones son mayores al 50% y menores al 65% (16). Asimismo, la TRSI cuenta con una abundante cantidad de aminoácidos no esenciales, incluyendo ácido aspártico, tirosina, cisteína y ácido glutámico (17). En cuanto a los aminoácidos esenciales, posee leucina, lisina y histidina. El resultado que se ha conseguido es

superior al de la harina de soya (42%-50%), que es una fuente proteica muy común y tiene múltiples usos en el sector alimentario, como los alimentos funcionales y los suplementos dietéticos (18).

Los componentes más abundantes en las semillas de sacha inchi son los lípidos, de modo que después de su extracción quedan entre 5% y 25% de lípidos en la TRSI. Según la literatura revisada, los principales ácidos grasos presentes son: linolénico 50%, linoleico 35%, oleico 9% y palmítico 5%. Los análisis realizados reportaron 5,55% de lípidos en la TRSI; este valor es mayor en relación con otros estudios que reportaron 2,30% y 3,39%. La diferencia mencionada puede deberse a la técnica utilizada para extraer el aceite de las semillas de sacha inchi. El aceite de las muestras analizadas se logró mediante prensado en frío, un método artesanal; en cambio, otros estudios emplearon solventes orgánicos como éter y hexano (19). El perfil lipídico que presenta la TRSI la hace adecuada para enriquecer alimentos con ácidos grasos esenciales. La parte lipídica de la TRSI es más rica y contiene un número más elevado de ácidos grasos poliinsaturados, en contraste con las harinas de soya.

Por otro lado, en relación con el parámetro de fibra cruda, el porcentaje obtenido fue de 4,15%, valor que presenta diferencias mínimas respecto a otros estudios que reportaron 4,47% (20). Esta variación puede ser resultado de factores relacionados con las semillas, como la calidad del cultivo, el clima, la geografía, las condiciones de almacenamiento, la época de cosecha y otros factores. Este producto, al tener un porcentaje de fibra por debajo del 5%, podría clasificarse como fuente baja de fibra.

Por último, con el análisis proximal, el contenido de carbohidratos de la TRSI obtenido en esta investigación fue de 27,33%, valor que difiere con otros estudios donde se reportaron porcentajes de 21,40% y 15,86% respectivamente. El contenido de carbohidratos obtenido se encuentra dentro del rango reportado en la literatura revisada (21). En los tres estudios, el contenido de carbohidratos se determinó por medio del cálculo diferencial de componentes distintos a carbohidratos.

Análisis microbiológico

El objetivo de este estudio es que la torta residual del sacha inchi se use como insumo para elaborar alimentos

con un alto valor nutricional. Por esta razón, se llevó a cabo un análisis microbiológico de las muestras de residuos generados durante la manufactura del aceite de sacha inchi, con el fin de asegurar la inocuidad alimentaria de dicho subproducto. La norma-ISO 18744:2006 fue la base para el análisis del límite permitido de cada parámetro (22).

Como se aprecia en la Tabla 2, todos los parámetros examinados, a excepción de *E. coli*, están dentro de los límites que señala la norma ISO 18744:2006. En *Escherichia coli*, se detectó una media de 1,23 UFC/g, cifra que no está permitida según la normativa que exige una ausencia total. La presencia de *Escherichia coli*, puede deberse a que el análisis se desarrolló con torta residual húmeda. Por ende, se recomienda aplicar un tratamiento térmico antes para prevenir esta contaminación (23). La presencia de *E. coli*; se debe por lo general a contaminación fecal-oral, en este caso, los residuos de la producción del aceite de sacha inchi son los que se utilizan para obtener la torta residual y, dado que no es el producto principal que produce la empresa, el personal no aplica las medidas higiénicas necesarias para elaborar un alimento inocuo. Este estudio muestra las deficiencias en la aplicación de medidas sanitarias para producir un subproducto seguro que pueda generar ganancias económicas a partir de un material que hoy día se usa poco (24).

A pesar de que la norma ISO 18744:2006 no lo considera como parámetro de análisis, se examinó *Staphylococcus aureus* por su relevancia en la inocuidad alimentaria (24). Esta bacteria es vista como una de las causas más relevantes de intoxicaciones alimentarias porque algunas de sus cepas poseen importancia clínica debido a las toxinas que generan, llamadas enterotoxinas estafilocócicas (25). Por lo tanto, se aconseja que el conteo de estas cepas bacterianas sea bajo o nulo.

Tabla 2. Análisis-microbiológico de la torta residual de Sancha-inchi

Requisitos	Unidad	Media	Límite máximo permitido para pasta o harina de soya (ISO 1874:2006)
Aerobios mesófilos	UFC/g	$4,36 \times 10^2 \pm 0,12 \times 10^2$	1×10^5
Coliformes totales	UFC/g	$2,46 \pm 0,08$	1×10^1
<i>Escherichia coli</i>	UFC/g	$1,23 \pm 0,05$	Ausencia
Mohos y levaduras	UFC/g	$1,41 \times 10^2 \pm 0,10 \times 10^2$	1×10^4
<i>Salmonella</i>	UFC/g	Ausencia	Ausencia
<i>Staphylococcus aureus</i>	UFC/g	$1,13 \times 10^2 \pm 0,07 \times 10^2$	-

Análisis de digestibilidad-gastrointestinal

La digestibilidad es un indicador de la calidad de los alimentos, por lo que resulta fundamental investigar la digestibilidad de la TRSI. Esto puede contribuir a decidir si un alimento es apto para ser consumido por seres humanos (26). Es importante investigar este aspecto para mejorar la formulación de los alimentos y el uso de nutrientes por parte del organismo.

Tabla 3. Digestibilidad-gastrointestinal in vitro de la TRSI.

Muestra	Resultado	Digestibilidad media (%)
1	43,24%	42,46%±1,56%
2	44,34%	
3	40,17%	
4	42,64%	
5	41,93%	

En el análisis de digestibilidad-gastrointestinal in vitro de la TRSI se determinó una media de 42,46%, como se puede apreciar en la Tabla 3. Al comparar este valor con otros estudios que reportan valores de 52,67% y 55,34%, se observa que el valor obtenido en este trabajo de investigación es menor. Esta diferencia puede ser resultado del procedimiento in vitro que se utilizó para calcular el porcentaje de digestibilidad de la TRSI, puesto que en los estudios mencionados se empleó el método Ankom Technology mediante la incubadora Daisy II. Este método-automatiza el análisis de digestibilidad in vitro tradicional, corrigiendo ciertos errores analíticos asociados a la manipulación de muestras y los pasos de filtración manual (27). Además, este método proporciona condiciones más similares a las del tracto gastrointestinal mediante el uso de soluciones que aportan nitrógeno, minerales, entre otros componentes.

La digestibilidad-gastrointestinal puede variar-según el tamaño de las partículas. La TRSI de esta investigación fue-triturada en una criba de 1 mm y posteriormente se volvió a mezclar, debido a que las muestras analíticas trituradas necesitan ser mezcladas correctamente antes de que se elijan las porciones para la prueba (28). La digestibilidad gastrointestinal se prevé que mejore conforme el tamaño de las partículas sea más pequeño, ya que los reactivos y los solventes disponen de menos matriz para penetrar (26).

IV. CONCLUSIONES

La caracterización integral de la torta residual de sachá inchi (TRSI) generada en microempresas de la región Amazónica del Ecuador demostró su potencial como materia prima para la industria alimentaria, presentando propiedades nutricionales destacables, aunque con aspectos microbiológicos que requieren atención.

El análisis proximal reveló que la TRSI está compuesta principalmente por proteínas (52,17%) y carbohidratos (27,33%),-clasificándola según la Norma Codex STAN 175-2013 como harina proteínica apta para el consumo humano.-Adicionalmente,-los contenidos de humedad (5,87%),-cenizas (5,00%),-grasa (5,55%) y fibra cruda (4,15%) confirman que este subproducto posee una composición nutricional equilibrada,-rica en aminoácidos esenciales y ácidos grasos poliinsaturados,-convirtiéndola en una alternativa valiosa frente a harinas proteínicas convencionales como la de soya.-

El análisis de digestibilidad gastrointestinal in vitro arrojó un valor de 42,46%,-indicando que los nutrientes de la TRSI son moderadamente accesibles en el tracto digestivo humano.-Este porcentaje sugiere que la biodisponibilidad de sus componentes nutricionales puede optimizarse mediante tratamientos tecnológicos adicionales,-como la reducción del tamaño de partícula o procesos térmicos controlados.-

La caracterización microbiológica,-realizada bajo los parámetros de la norma ISO 18744:2006 para pasta o harina de soya,-mostró que la TRSI cumple con los límites establecidos para aerobios mesófilos,-coliformes totales, mohos,-levaduras,-Salmonella y *Staphylococcus aureus*.-Sin embargo,-se detectó la presencia de *Escherichia coli* (1,23 UFC/g),-cuando la norma exige ausencia total.-Esta situación evidencia deficiencias en las prácticas de higiene durante el proceso de extracción del aceite,-por lo que se recomienda implementar buenas prácticas de manufactura (BPM) y aplicar tratamiento térmico a la torta residual antes de su utilización como ingrediente alimentario.-

La valorización de la TRSI como materia prima para la elaboración de alimentos funcionales representa una oportunidad para promover la economía circular en el sector agroindustrial ecuatoriano,-al transformar un subproducto

actualmente desaprovechado en un ingrediente con alto valor nutricional.-Su incorporación en la industria alimentaria contribuiría simultáneamente a la seguridad alimentaria,-al aprovechamiento eficiente de recursos agrícolas tradicionales y a la reducción del impacto ambiental asociado con residuos agroindustriales,-siempre que se garantice su inocuidad mediante la implementación de procesos estandarizados y

controlados de producción.

V. AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestros agradecimientos a la Carrera de Bioquímica y Farmacia de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

VI. REFERENCIA

1. Campos D, Valerio K, Carrasco MP, Aguilar-Galvez A, Chirinos R, Pedreschi RP. Symbiotic and multifunctional properties of a fermented blend based on Sacha inchi press cake (*Plukenetia volubilis*) and Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Food Biosci.* 2025;74:107886. doi:10.1016/j.fbio.2025.107886.
2. Mendoza-Almeida T, Ramírez-Roca EG, Suárez-Cunza S. Fatty acid profile and effect of *Plukenetia volubilis* L. (sacha inchi) oil on lipid metabolism in rats fed a high-fat diet. *Braz J Med Biol Res.* 2025;58:e14684. doi:10.1590/1414-431X2025e14684.
3. Musa NN, Halim M, Yaakop SB. First insight on tritrophic interaction involving *Plukenetia volubilis* L., insects, and microbe as an early and crucial data for developing a pest management strategy. *Pak J Agric Sci.* 2024;61(1):13–25. doi:10.21162/PAKJAS/24.144.
4. Hariadi H, Wahyono T, Darniadi S, Maulana H, Nurhadi B, Amien S, et al. Effect of maltodextrin concentration and drying temperature on the physicochemical characteristics of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) extract powder. *Ital J Food Sci.* 2024;36(2):74–82. doi:10.15586/ijfs.v36i2.2458.
5. Fardush M, Mohd Fauzi N, Yan H, Nurdin AB, Jantan IB, Nor Muhammad NA, et al. Physicochemical characterization, lipid-modulating effects, and proteomic insights of Malaysian Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seed oil in HepG2 cells. *Food Biosci.* 2025;74:107891. doi:10.1016/j.fbio.2025.107891.
6. Lin K, Lu LX, Pan B, Chai X, Fu Q, Geng X, et al. *Agrobacterium rhizogenes*-mediated hairy root genetic transformation using *Agrobacterium* gel inoculation and RUBY reporter enables efficient gene function analysis in Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*). *Int J Mol Sci.* 2025;26(6):2496. doi:10.3390/ijms26062496.
7. Cueva-Ríos MA, Vargas EBA. Oxidative stability and sensory quality of Sacha Inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) by the action of five essential oils from aromatic species from Jaén, Perú. In: *Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering.* Cham: Springer; 2025. p. 275–284. doi:10.1007/978-3-031-86954-9_30.
8. Tran PNT, Quoc LPT. Anti-oxidative stress and immunosuppressive effects of ethanol extract from Sacha Inchi leaves in mice with CFA-induced rheumatoid arthritis. *Trop J Nat Prod Res.* 2024;8(9):8584–92. doi:10.26538/tjnpr/v8i9.48.
9. Tianara A, Handayani W, Irsyam ASD, Hariri MR, Dewi AP, Peniwidiyanti P, et al. *Plukenetia volubilis* L.: A new record of a cultivated alien species in Java. *J Trop Biodivers Biotechnol.* 2024;9(1):84523. doi:10.22146/jtbb.84523.
10. Chan YJ, Chiu C, Li PH, Lu WC. Evaluation of different roasting condition on yield, physico-chemical characteristics, and antioxidant activity of cold-pressed sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) oil. *LWT.* 2024;203:116343. doi:10.1016/j.lwt.2024.116343.
11. Tan A, Scortecchi KC, de Medeiros NM, Kukula-Koch WA, Butler TJ, Smith SM, et al. *Plukenetia*

- volubilis leaves as source of anti-Helicobacter pylori agents. *Front Pharmacol.* 2024;15:1461447. doi:10.3389/fphar.2024.1461447.
12. Lemus-Conejo A, Villanueva-Lazo Á, Martín ME, Millán F, Millan-Linares MC. Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) protein hydrolysate as a new ingredient of functional foods. *Foods.* 2024;13(13):2045. doi:10.3390/foods13132045.
 13. Caicedo A, Mussagy CU, Mesa Salgado VM, Miotti Junior RH, Valenzuela Báez RW, de Paula AV, et al. Enzymatic synthesis of structured lipids from sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) oil with capric acid via acidolysis reaction in stirred tank and packed bed mini reactors. *Food Biosci.* 2024;58:103769. doi:10.1016/j.fbio.2024.103769.
 14. Pongpaew P. Enhanced nutritional properties of alternative sausages through processed Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) substitution. *Curr Res Nutr Food Sci.* 2025;13(2):984–95. doi:10.12944/CRNFSJ.13.2.31.
 15. Viamonte-Garcés MI, Ramírez-Sánchez A, Segura-Ramírez LM, Macías-Cando AX, González Mosquera DM. Blood metabolic indicators of laying hens fed with diets of *Plukenetia volubilis* L. and *Bactris gasipaes*. *Rev Investig Vet Peru.* 2025;36(4):31289. doi:10.15381/rirep.v36i4.31289.
 16. Hernández-Rodríguez J. Sacha inchi oil and its use in the treatment of certain diseases. *Rev Cuba Med Gen Integr.* 2025;41:eXXXX.
 17. Osotprasit S, Saowaros SA, Cummins SF, Wang T, Samrit T, Chaiwichien A, et al. Anti-metastatic effects of *Plukenetia volubilis* (Sacha Inchi) husk extract via EGFR and EMT pathways and other antitumor effects in colon cancer. *Int J Mol Sci.* 2025;26(21):10514. doi:10.3390/ijms262110514.
 18. Chirinos R, Scharff-Salinas R, Rodríguez-Díaz J, Figueroa-Merma A, Aguilar-Galvez A, Guzmán F, et al. Conventional and ultrasound-assisted extractions of protein from sachá inchi (*Plukenetia volubilis*) and their impact on the physicochemical and structural characteristics. *Appl Food Res.* 2024;4(2):100545. doi:10.1016/j.afres.2024.100545.
 19. Brishti FH, Wan-Ibadullah WZ, Hanafi MA, Hajar-Azhari S, Arulrajah B, Sadia HT, et al. The multifaceted Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) protein: From molecular composition to extraction techniques, techno-functional properties, and food applications. *Food Chem.* 2025;492:145533. doi:10.1016/j.foodchem.2025.145533.
 20. Permatasari DAI, Fernando D, Lumakso FA, Purwanto P, Hastuti AAMB, Rohman AF. Authentication analysis of Sacha Inchi seed oil using Fourier transform infrared spectroscopy combined with chemometrics. *Food Anal Methods.* 2025;18(12):2860–81. doi:10.1007/s12161-025-02891-y.
 21. Harlina PW, Nawaz A, Sabrina SA, Nur'isma EA, Geng F, Shahzad R, et al. Lipidomics analysis of phospholipid profiles and oxidative stability in pan-fried beef patties incorporating sachá inchi leaf extracts. *Sci Rep.* 2025;15(1):13267. doi:10.1038/s41598-025-13267-x.
 22. López-Bermúdez NL, Rodríguez-Torres AC, Ojalvo-Álvarez AM, Peña-Guzmán CA. Phosphate adsorption from aqueous solutions using eggshell and Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis*) mixture. *Civ Eng J.* 2025;11(7):2918–32. doi:10.28991/CEJ-2025-011-07-016.
 23. Chotimarkorn C, Punvichai T. Impact of roasting temperature on the shelf life and antioxidant properties of cold-pressed sachá inchi oil during storage: A practical approach in Thailand. *Food Res.* 2025;9(2):172–83. doi:10.26656/fr.2017.9(2).122.
 24. Al-Hamoud GA, Amina M, Alrashoudi RH, Mateen A, Maqsood F, Al-Yousef HM. Unveiling phenolic content, antibacterial, and antibiofilm potential of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seed shell extracts against *Staphylococcus aureus*. *PeerJ.* 2025;13:e19524. doi:10.7717/peerj.19524.
 25. Álvarez-Quinteros JF, Lazo-Vélez MA, Cordero-Clavijo LM, Antunes-Ricardo M, Avilés-González JF, Villacrés E, et al. Protein concentrates from Andean plants (*Plukenetia volubilis* and *Lupinus mutabilis*): Impact on protein quality and in vitro biological activity in bread. *ACS Food Sci Technol.*

- 2025;5(6):2156–66. doi:10.1021/acsfoodscitech.4c01079.
26. Cordero-Clavijo LM, Mejía-Valdez D, Antunes-Ricardo M, Lazo-Vélez MA, Guajardo D. Evaluating sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) oil stability and physicochemical properties: A comparison between conventional extraction and supercritical fluids. *Food Chem.* 2025;463:140123.
 27. Rosariastuti R, Pratama VP, Supriyadi S, Hartati S. The effects of various stands in Sacha Inchi bean (*Plukenetia volubilis*) agroforestry on mycorrhizal spore density. *Int J Agric Biol.* 2025;33(1):2250. doi:10.17957/IJAB/15.2250.
 28. Reggina HP, Masyithoh G, Supriyadi S, Novarika R, Murhofiq S. Potential plant utilization in the agroforestry system of *Tectona grandis* (teak) and *Plukenetia volubilis* (Sacha inchi). *Agro Bali.* 2025;8(2):580–93. doi:10.37637/ab.v8i2.2275.