



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

BIOQUÍMICA Y FARMACIA

**Purificación de extracto de subproducto de limón
utilizando diferentes adsorbentes**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

BIOQUÍMICA FARMACEUTICA

Autora: Viteri Carchi, Mariela Alexandra

Directora: Guamán Balcázar, María del Cisne

LOJA

2023



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2023

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Loja 12, de septiembre 2023

Magíster

Claudia Teresa Cruz Erazo

Directora de la carrera de Bioquímica y Farmacia

Cuidad.

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente trabajo de titulación denominado: Purificación de extracto de subproducto de limón utilizando diferentes adsorbentes realizado por Mariela Alexandra Viteri Carchi ha sido orientado y revisado durante su ejecución, así mismo ha sido verificado a través de la herramienta de similitud académica institucional, y cuenta con un porcentaje aceptable. En virtud de ello, y por considerar que el mismo cumple con todos los parámetros establecidos por la Universidad doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico con los fines pertinentes

Atentamente

Director: Guamán Balcázar, María del Cisne, Mgtr.

C.I: 1103648505

Correo electrónico: mргуaman@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Mariela Alexandra Viteri Carchi, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor (a) del Trabajo de Titulación denominado: Purificación de extracto de subproducto de limón utilizando diferentes adsorbentes, de la carrera de Bioquímica y Farmacia, específicamente de los contenidos comprendidos en: Capítulo 1: Marco teórico del limón, antioxidantes naturales, Flavonoides, Adsorción, Secado por aspersion Métodos de cuantificación de antioxidantes y Fenoles Totales, Capítulo 2: Materiales y métodos, Capítulo 3: Resultado y discusión, Conclusiones y Recomendaciones, siendo Mgtr. María del Cisne Guamán Balcázar, director (a) del presente trabajo; también declaro que la presente investigación no vulnera derechos de terceros ni utiliza fraudulentamente obras preexistentes. Además, ratifico que las ideas, criterios, opiniones, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad. Eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación a la propiedad intelectual de este trabajo.

Que la presente obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTP, que establece: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad", en tal virtud, cedo a favor de la Universidad Técnica Particular de Loja la titularidad de los derechos patrimoniales que me corresponden en calidad de autor/a, de forma incondicional, completa, exclusiva y por todo el tiempo de su vigencia.

La Universidad Técnica Particular de Loja queda facultada para ingresar el presente trabajo al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Autor: Mariela Alexandra Viteri Carchi

C.I.: 1150979050

Correo electrónico: vitericarchimariela@gmail.com

Dedicatoria

Con amor a Dios, a mis padres, por su amor y sacrificio, por brindarme la posibilidad de cumplir mis sueños, a mi esposo por su apoyo incondicional, a mi hijo que ha sido mi inspiración para lograr culminar esta meta.

Agradecimiento

Primeramente, agradecer a Dios por regalarme sabiduría y fortaleza durante todo este tiempo, a mis padres José y Lilia quienes con su sacrificio lograron apoyarme para hacer posible culminar esta meta, a mis hermanos por su apoyo en todo momento.

A la directora de este trabajo PhD. María del Cisne Guamán Balcázar, por su guía brindada, paciencia durante este proceso y compartir sus conocimientos, para que este trabajo se lleve de la mejor forma posible.

A cada uno de los docentes que fueron parte de mi formación académica.

INDICE DE CONTENIDOS

Aprobación del director del trabajo de titulación	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento	VI
Indice de contenidos	VII
Resumen	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Objetivos	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
Capítulo uno	6
Marco teórico.....	6
1.1 Origen de los cítricos	6
1.2 Limón	6
1.3 Subproductos	7
1.4 Valor nutricional del fruto	9
1.3.1 <i>Flavonoides</i>	10
1.3.2 <i>Antioxidantes</i>	11

1.3.3 <i>Compuestos fenólicos</i>	11
1.4 Adsorción.....	12
1.5 Secado por aspersión.....	13
1.6 Método de cuantificación de fenoles totales y capacidad antioxidante	14
1.6.1 <i>Determinación de fenoles totales</i>	14
1.6.2 <i>Método ABTS</i>	15
1.6.3 <i>Método FRAP</i>	15
1.6.4 <i>Método DDPH</i>	15
Capitulo dos.....	17
Materiales y métodos.....	17
2.1 Materia prima	17
2.1.1 <i>Análisis fisicoquímicos de la materia prima</i>	17
2.1.1.1 Humedad	17
2.1.1.2 Color	17
2.1.1.3 ph	18
2.1.1.3 Acidez titulable	18
2.1.1.4 Grados Brix.....	19
2.1.2 <i>Obtención del extracto del subproducto de limón</i>	19
2.1.3 <i>Obtención del extracto purificado</i>	19
2.1.4 <i>Proceso de atomización de extractos purificados</i>	19
2.1.5 <i>Dilución del producto atomizado</i>	20
2.1.6. <i>Determinación de capacidad antioxidante y fenoles totales</i>	20

2.1.6.1 Determinación del contenido de fenoles	20
2.1.6.2 Determinación FRAP	21
2.1.6.3 Determinación ABTS	21
2.1.6.4 Determinación DPPH	22
2.1.7. <i>Pruebas para realizar el análisis sensorial de los productos atomizados</i>	22
2.1.8 <i>Análisis sensorial de los productos atomizados</i>	22
Capitulo tres	24
Discusión de resultados	24
3.1 Propiedades de la materia prima.....	24
3.2 Rendimiento de la materia prima	25
3.3 Cuantificación de fenoles totales y capacidad antioxidante de extracto	26
3.4 Cuantificación de fenoles totales y capacidad Antioxidante de extractos purificados	27
3.5 Cuantificación de fenoles totales y capacidad antioxidante de extractos purificados atomizados	30
3.6 Análisis sensorial de los productos atomizados	32
Conclusiones.....	33
Recomendaciones	34
Referencias	35
Apéndice	42

Resumen

La corteza de limón se reconoce como un subproducto que contiene una cantidad significativa de antioxidantes naturales, los cuales pueden ser utilizados como componentes en la creación de productos innovadores, la evaluación de las características físico-químicas de estos recursos es esencial para asegurar la excelencia de los productos ofrecidos a los posibles clientes, por esta razón, en esta investigación se realizó la purificación de los extractos obtenidos a partir de este subproducto de limón, mediante la utilización de adsorbentes como carbón activado y sílica.

Los resultados obtenidos muestran coincidencia con investigaciones previas, tanto en la caracterización de la materia prima, la actividad antioxidante y los niveles de fenoles totales en los extractos purificados y los productos atomizados, así mismo se observaron resultados consistentes en el análisis sensorial.

En cuanto al análisis, se detectan diferencias significativas entre los adsorbentes utilizados y las cantidades empleadas en el proceso de purificación. Respecto al análisis sensorial, se concluye que se logró reducir parte del sabor amargo presente en el extracto de subproducto de limón.

Palabras claves: subproducto de limón, adsorbentes, actividad antioxidante.

Abstract

Lemon peel is recognized as a by-product that contains a significant amount of natural antioxidants, which can be used as components in the creation of innovative products, the evaluation of the physical-chemical characteristics of these resources is essential to ensure the excellence of the products offered to potential customers, for this reason, this research was carried out to determine said properties of the lemon by-product, to improve the quality, a purification of the extracts obtained from this lemon by-product was also carried out.

The results obtained show coincidences with previous investigations, both in the characterization of the raw material, the antioxidant activity and the levels of total phenols in the purified extracts and the atomized products, likewise consistent results were observed in the sensory analysis.

Regarding the analysis, significant differences are detected between the adsorbents used and the amounts used in the purification process. Regarding the sensory analysis, it is concluded that part of the bitter taste present in the lemon by-product was reduced.

Keywords: lemon by-product, adsorbents, antioxidant activity.

Introducción

El constante crecimiento de la población mundial y el desarrollo industrial han llevado a un aumento significativo en la generación de residuos y subproductos de diversas industrias, lo que representa un desafío ambiental y económico, entre estos subproductos el limón ha ganado especial atención debido a su amplia aplicación en la industria alimentaria y el consumo masivo de esta fruta en todo el mundo, sin embargo el procesamiento de limón genera grandes cantidades de subproductos, que incluyen cáscara, albedo y flavedo no aptos para su uso directo.

Los subproductos del limón son ricos en compuestos bioactivos, como fenoles y antioxidantes, que presentan un gran potencial para su aprovechamiento en diversas aplicaciones industriales y farmacéuticas, estos compuestos han demostrado poseer propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas, entre otras, que lo hacen altamente valioso en la industria alimentaria, de cosméticos y en la prevención de enfermedades, en este contexto, la purificación de los extractos de subproductos de limón implica la eliminación de componentes no deseados por su sabor amargo como lo es la limonina, a fin de obtener un producto de alta calidad que pueda ser utilizada sin restricciones.

El uso de adsorbentes es una estrategia prometedora para la purificación de subproductos en caso de ser requerido, entre los más utilizados están las resinas de intercambio iónico y alúmina activada, por su bajo costo. En el presente trabajo, se empleó carbón activado y gel de sílice, debido a su capacidad de adsorción, por lo que, se tiene como objetivo principal comparar la eficacia de estos dos adsorbentes, para la eliminación del sabor amargo de los productos atomizados obtenidos a partir de extractos de subproducto de limón con la finalidad de contribuir al aprovechamiento sostenible de los subproductos del limón, promoviendo la reducción de residuos y la obtención de productos de valor agregado, asimismo sentará las bases para futuros estudios relacionados con la optimización de procesos de purificación.

En la investigación se utilizó subproducto de limón que consistió en albedo, flavedo y cáscara, la cual paso por un proceso de maceración, purificación de extractos utilizando carbón activado y gel de sílice, proceso de atomización y determinación de fenoles totales y antioxidantes, seguido se procedió a realizar una captación del producto atomizado. Estos análisis fueron realizados en el laboratorio de Alimentos de la Universidad Técnica Particular de Loja, cumpliendo con las normas de bioseguridad para llevar el proceso bajo las condiciones adecuadas.

Cabe mencionar que el transcurso de la parte experimental se presentaron algunas dificultades tales como la obtención de adsorbentes, y determinar la concentración apropiada para establecer capacidad antioxidante en las diferentes muestras estudiadas. Dentro de las facilidades se encontró el proceso de extracción y atomización los cuales previamente fueron validados por el grupo de investigación INNOTECH de la UTPL.

El presente trabajo se estructura en tres capítulos, en el primer capítulo se aborda el marco teórico, donde se detalla el origen del limón sutil, la relevancia del subproducto del limón en la industria y cada uno de los métodos aplicados, en el segundo capítulo se expone la metodología utilizada para llevar a cabo el estudio y alcanzar los objetivos propuestos, por último, el tercer capítulo contiene la presentación de los resultados obtenidos, los cuales son contrastados con investigaciones análogas previas.

Objetivos

Objetivo General

Remover compuestos no deseados del extracto de limón

Objetivos Específicos

- Obtención de extractos y polvo atomizado a partir de subproducto del limón
- Obtención de extractos purificados utilizando diferentes adsorbentes
- Determinación de la cantidad de fenoles totales y capacidad antioxidante en extractos y polvo atomizado

Capítulo uno

Marco teórico

1.1 Origen de los cítricos

La evidencia histórica señala que los cítricos suscitaron hace unos 20 millones de años en el Sudoeste de Asia. Desde entonces hasta el presente han experimentado una serie de cambios a través del proceso de selección natural, así como también han sufrido modificaciones causadas por la intervención humana o a su vez de modo natural (Tomalá, 2021). La dispersión de los cítricos a partir de su lugar de origen principalmente se debe a la migración, en el siglo XVI es cuando fue introducido en América por los exploradores españoles (DZUL, 2014).

1.2 Limón

Los cítricos corresponden al género *Citrus* de la familia de las Rutáceas (orden Terebinthales) que incluye diversas especies, aproximadamente 1 600, en su mayoría son leñosas, dentro de las características de dicha familia es la presencia de glándulas secretoras oleíferas de sus frutos que contienen esencias muy aromáticas, el cultivo de cítricos es de gran relevancia a nivel global, pues tiene un impacto significativo, y en Ecuador, particularmente el limón sutil es la variedad más ampliamente cultivada, seguida por el limón Tahití (Santistevan Méndez et al., 2017). Se ha cultivado durante el año 2021 aproximadamente 4718 ha con una cantidad de producción de 22402.88 toneladas (FAOSTAT. 2021).

El limón sutil (*Citrus Aurantifolia* Swingle) es una fruta cítrica de forma redonda, su ápice es ligeramente deprimido, de color verde oscuro y amarillo en la madurez (NTE- INEN-1837, 2016). Junto con la presencia del ácido ascórbico, se pueden encontrar otros compuestos fitoquímicos en esta fruta, como las flavanonas (naringina), los limonoides, los carotenoides (licopeno) y un complejo de vitaminas B, también se encuentran nutrientes como la tiamina, riboflavina, ácido nicotínico y ácido pantoténico, los cuales desempeñan un papel fundamental como nutracéuticos (Ledesma-Escobar & Luque de Castro, 2014).

1.3 Subproductos

Los residuos agrícolas generados como resultado de la agricultura, contienen nutrientes esenciales y compuestos bioactivos que pueden ser de interés en diversas industrias, incluyendo la farmacéutica, cosmética y alimentaria, estos desechos incluyen como por ejemplo las cáscaras de naranja, limón, tamarindo y melón, etc (Moncayo Luján et al., 2018).

La fabricación de jugos específicamente de cítricos, genera cantidades considerables de subproductos, como el albedo, el flavedo y las semillas, donde sus principales componentes son: fibra, ácidos orgánicos, aminoácidos, minerales, vitaminas y flavonoides, estos se encuentran en diferentes porcentajes dependiendo del grado de madurez del cítrico (Viuda-Martos et al., 2009).

Se estima que a nivel global se genera alrededor de 2.8 millones de toneladas de residuos de cáscara de limón cada año, por lo tanto, es esencial encontrar una forma conveniente de fructificar esta considerable cantidad de residuos (Ledezma-Escobar & Luque de Castro, 2014).

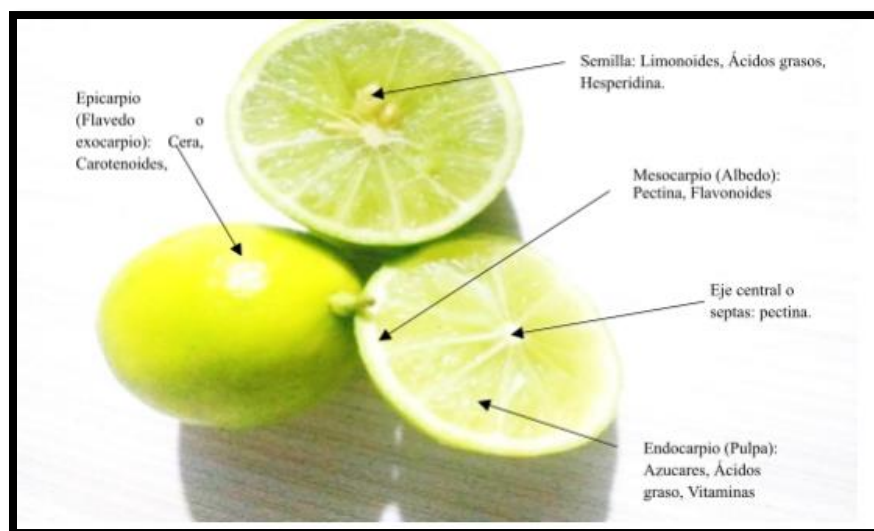
Con respecto al aprovechamiento de subproductos tiene ventajas económicas, abarcando la reducción de gastos para la eliminación de residuos y diversificación financiera, de igual forma se encuentran ventajas medioambientales como, reducción del consumo de recursos hídricos y combustibles fósiles, disminución en la producción de gases de invernadero, etc. (Jiménez-Morales et al., 2020).

Los subproductos alimentarios aún son considerados funcionales, ya que son altamente nutritivos, además tienen propiedades favorables, como mayor retención de agua por lo que la industria ha optado por utilizar estos residuos en diversas formas y lograr fabricar productos funcionales en distintas presentaciones tales como: aceites esenciales, fibra dietética, antioxidantes e ingredientes en polvo, al transformar los subproductos en polvo estos tienen el potencial de ofrecer un valor nutricional suplementario a la par que contribuyen al desarrollo sostenible (Claudia Bas-Bellver, 2022).

El albedo, flavedo y pulpa contienen un elevado índice de compuestos bioactivos. En la figura 1, se muestra la anatomía del limón y sus diferentes compuestos bioactivos dependiendo de su estructura.

Figura1

Estructura del limón



Nota. Obtenido de Ojeda, (2021)

- Albedo: es una fina capa color blanco y esponjosa, su espesor depende del grado de madurez del fruto el cual presenta una fuente importante de pectinas y glúcidos.
- Flavedo (corteza): el color es cambiante de verde a amarillo según el estado de madurez, es bastante aromática ya que se encuentran presentes numerosas glándulas de aceites esenciales, están glándulas forman parte de un mecanismo de supervivencia contra ataques de insectos y microorganismos.
- Endocarpio (pulpa): su color es amarillo pálido, se encuentra dividido en gajos, en los cuales se encuentran células alargadas que contienen glúcidos, agua, y ácido cítrico, esporádicamente se pueden encontrar semillas (Colombo, 2020).

1.4 Valor nutricional del fruto

Principalmente el limón es una fuente importante de vitamina C, además de contener cantidades menores de otras vitaminas y minerales, en la pulpa están presentes ciertos ácidos orgánicos, siendo el ácido cítrico el predominante, aunque se encuentran en menor proporción el ácido málico, acético y fórmico (Estrada et al., 2018).

En la tabla 1 se observa algunos de los componentes nutricionales.

Tabla 1

Componentes nutricionales de limón

Valores nutritivos del limón en 100g	
Vitamina A	2 µg
Vitamina C	50 mg
Vitamina E	0.5 mg
Ácido fólico	6 mg
Calcio	12 mg
Hierro	0.4 mg
Sodio	3 mg
Potasio	149 mg
Magnesio	18 mg
Calorías	44 k/cal
Proteínas	0,7 g
Grasas	0.4 g
Fósforo	16 mg
Hidratos de carbono	9 g
Azúcares	9 g

Nota. Obtenido de Arroyo et al., (2018)

En el albedo y en la pulpa se encuentran presentes los flavonoides, pero cabe recalcar que los elementos más interesantes del limón son los fitonutrientes presentes en la corteza (Estrada et al., 2018). En la tabla 2, se observa algunos componentes presentes en la cáscara en peso fresco (wf) y base seca (dw).

Tabla 2.

Compuestos presentes en cáscara de limón

Compuestos de la cáscara en 100g	
Fibra dietética	14 g (wf)
Fibra soluble	4.93 g (wf)
Fibra insoluble	9.04 g (wf)
Ceniza	2.52 % (dw)
Grasa	1.51 % (dw)
Proteína	7 % (dw)
Azúcar	6.52 % (dw)
Pectina	13 % (dw)
Celulosa	23.06 % (dw)
Lignina	7.56 % (dw)
Hemicelulosa	8.09 % (dw)
Flavonoides	12.54 % (dw)

Nota. Adaptado de Ramful et al., (2010) en donde describe cada una de las siglas de la siguiente manera:

wf: peso fresco, **dw:** base seca

1.3.1 Flavonoides

Los flavonoides constituyen un grupo amplio de compuestos polifenólicos que se caracterizan por tener una estructura de benzo- γ -pirano en común, estos compuestos comparten una vía sintética que involucra precursores de las rutas del shiquimato y del acetato-malonato (Cartaya & Reynaldo, 2001). Las flavanonas y flavanonoles son tipos de flavonoides que suelen ser incoloros o ligeramente amarillos debido a sus concentraciones relativamente bajas, lo que ha llevado a una investigación limitada sobre ellos directamente. Sin embargo, sus glicósidos, como la hesperidina y la naringina, que se encuentran en la corteza de los frutos cítricos, son bastante conocidos y estudiados (Fabiana Meijon Fadul, 2019).

Los flavonoides no solo tienen propiedades antioxidantes, sino que también poseen acciones antivirales, antialérgicas, antiinflamatorias y antitrombóticas. Además, desempeñan un papel significativo en diversas industrias como la cosmética, alimentos, farmacéutica y bebidas debido a estas propiedades beneficiosas (Martínez-Flórez et al., 2002). Los flavonoides, ligados a la vitamina C, potencian la acción contra los radicales libres, lo que conlleva numerosos beneficios para el organismo humano. Algunas de estas ventajas incluyen una mayor síntesis

del colágeno natural, la mejora de la salud del sistema óseo, la ayuda en la lucha contra la artritis, su capacidad como aliado en la batalla contra las infecciones bacterianas, la reducción de la inflamación, la disminución de la flacidez de la piel y la capacidad de contrarrestar el envejecimiento prematuro (Hernández-Guiance et al., 2019).

1.3.2 Antioxidantes

Los antioxidantes son compuestos químicos que desempeñan un papel importante al proteger las células del cuerpo humano al equilibrar los radicales libres, las cuales pueden dañar el ADN y las proteínas, pues son moléculas inestables y altamente reactivas, por lo que al ser neutralizadas se minimiza el riesgo de enfermedades crónicas como malestares cardíacos, cáncer y padecimientos neurodegenerativas (Zamora S. J D, 2007).

El cuerpo humano produce naturalmente ciertos antioxidantes llamados endógenos, sin embargo cabe recalcar que el cuerpo también necesita de la dieta, para adquirir parte de los antioxidantes que requiere, los cuales son designados como exógenos, frecuentemente son conocidos como alimenticios, estos pueden ser encontrados en alimentos como frutas, verduras, semillas y granos enteros, algunos de los más importantes incluyen la vitamina C, betacaroteno, selenio y los flavonoides (Bouayed & Bohn, 2010).

Los antioxidantes no son una solución milagrosa y no deben ser vistos como reemplazos de una dieta saludable y equilibrada. Sin embargo, una alimentación que incluya una variedad de alimentos ricos en antioxidantes puede ser beneficiosa para la salud y ayudar a reducir el riesgo de enfermedades crónicas. Los antioxidantes son una parte importante de un enfoque global para mantener una buena salud y bienestar (Diplock et al., 1998).

1.3.3 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos o fenilpropanoides son un conjunto diverso de moléculas orgánicas que se caracterizan por poseer un anillo fenólico, el cual está formado por un anillo aromático, que juega un papel fundamental en las propiedades antioxidantes, unido a uno a más

un grupos hidroxilo, dichos compuestos se encuentran comúnmente en frutas, verduras, granos y otros alimentos vegetales, son utilizados en la fabricación de productos cosméticos, farmacéuticos y cuidado personal (Martín Gordo, 2018).

Tienen una amplia variedad de propiedades beneficiosas para la salud, estudios han demostrado que actúan como antioxidantes, también puede tener propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas y neuroprotectoras (Creus, 2004). Es importante enfatizar que, aunque los compuestos fenólicos poseen varios beneficios para la salud, es transcendental consumirlos en el contexto de una dieta saludable y equitativa, es necesario tener en cuenta que los efectos beneficiosos de estos compuestos pueden variar según la cantidad y la forma en que se consuman, así como según la edad y la etapa de salud de la persona (I. N. González et al., 2017).

1.4 Adsorción

La adsorción es un proceso de separación en la que ciertos componentes de una fase fluida se transfieren hacia la superficie de un sólido (adsorbente), la gran mayoría de los adsorbentes son materiales altamente porosos y el proceso se da principalmente en el interior de los poros, este proceso es empleado en la eliminación de compuestos fenólicos, hidrocarburos aromáticos nitrados, sustancias coloreadas de igual forma otras sustancias que comunican olor y sabor (Romeo Giménez, Luis Miguel, Lara, Yolanda, Lisbona Martín, María Pilar, Bolea, Irene, González, Ana, Lupiáñez, Carlos, Díez Pinilla, Luis Ignacio, Martínez, 2010).

En la industria alimentaria se utiliza las resinas de adsorción para mejorar la calidad del jugo de frutas, dichos adsorbentes eliminan compuestos orgánicos que dan la pigmentación a la fruta, que conduce a jugos más claros, así mismo, se utilizan para reducir el amargo en los jugos cítricos, para una eliminación más selectiva de compuestos no deseados, como por ejemplo los componentes del aceite de oliva como carotenoides, clorofilas y feofitinas, también ácidos grasos libres, fosfolípidos y varios productos de oxidación los cuales necesitan ser refinados. Los adsorbentes más utilizados para estos fines son el carbón activado y tierra activada (Kammerer et al., 2011).

Por otro lado, Hernández-Guiance et al., (2019) utilizaron resinas como: Amberlite XAD-16HP y Dowex Optipore L285 para reducir el amargor en jugos con buenos resultados. En el caso de la resina, Dowex Optipore L285 disminuyó la acidez titulable, incrementando el número de sólidos solubles y el pH.

En este trabajo se emplearon dos tipos de adsorbentes, uno de ellos es el carbón activado, el cual se refiere a carbones altamente porosos obtenidos a partir de materiales ricos en carbono, estos carbones son activados mediante procesos físicos o químicos, lo que aumenta considerablemente su porosidad, el carbón activado es ampliamente utilizado debido a su costo reducido (Carriazo et al., 2010), mientras que el gel de sílice es un producto adsorbente, en forma granular y porosa, actualmente se encuentra descrito como el de mayor capacidad de adsorción, a pesar de su nombre es un gel estable y rígido, es un producto fácil de manejar y puede ser reutilizado fácilmente (Aguilera et al., 2012).

Los subproductos alimentarios aún son considerados funcionales, ya que son altamente nutritivos, además tienen propiedades favorables, como mayor retención de agua por lo que la industria ha optado por utilizar estos residuos en diversas formas y lograr fabricar productos funcionales en distintas presentaciones tales como: aceites esenciales, fibra dietética, antioxidantes e ingredientes en polvo, al transformar los subproductos en polvo estos tienen el potencial de ofrecer un valor nutricional suplementario a la par que contribuyen al desarrollo sostenible (Claudia Bas-Bellver, 2022).

1.5 Secado por aspersión

Proceso de secado por atomización se considera una operación básica, que consiste en el cambio de una suspensión en un material particulado seco, se realiza en un medio caliente y seco, la desecación por atomización de gotas se maneja en industrias dentro de los sectores de cerámica, químico, alimentario y farmacéutico (Mondragón et al., 2013). Dentro de las variables que influyen en el proceso se encuentran las propias de la suspensión como, viscosidad, tensión superficial, densidad, contenido en sólidos, temperatura, estado de floculación y distribución del

tamaño de las partículas, por otra parte en las del equipo encontramos, la temperatura, caudal y humedad (Siccha & Ugaz, 1995).

Dicho proceso ha sido empleado en diversos estudios entre uno de estos se encuentra “Optimización del proceso de atomización de pomelo” El objetivo de esta investigación fue analizar los efectos de la incorporación de maltodextrina, goma arábica, carboximetilcelulosa y proteína en la calidad del pomelo atomizado y en el rendimiento del proceso (Egas-Astudillo, 2015). También se encuentran otros estudios tales como “Optimización de las condiciones de atomización de antioxidantes obtenidos de los subproductos de mango (*Mangifera indica L*)” y “Optimización de las condiciones de atomización de antioxidantes obtenidos de los subproductos de guayaba (*Psidium guayaba*)” entre otros. Cabe recalcar que el propósito de este proceso es la obtención de productos en forma de polvo, puesto que presentan una vida útil superior en comparación a los líquidos o productos frescos, además ocupan menos espacio durante el almacenamiento lo que facilita su acopio en áreas limitadas, debido a su menor volumen y peso, es decir los ingredientes en polvo son más económicos de transportar.

1.6 Método de cuantificación de fenoles totales y capacidad antioxidante

La determinación del potencial antioxidante y compuestos fenólicos de un producto en general es esencial ya que puede servir como indicador para comprender su valor nutricional, sus beneficios para la salud y su impacto en el desarrollo sostenible. Esta información puede guiar la elección del mejor método dentro del laboratorio de investigación, por lo tanto, existen algunos métodos como los detallados a continuación:

1.6.1 Determinación de fenoles totales

Para la cuantificación de fenoles totales se determina mediante el método Folin-Ciocalteu, los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo Folin-Ciocalteu, a pH básico dando como resultado una coloración azul susceptible, la cual es determinada con ayuda del espectrofotómetro a 765 nm, dicho reactivo está compuesto por una mezcla de wolframato sódico

y molibdato sódico en ácido fosfórico y reacciona con los compuestos fenólicos presentes en la muestra, donde el ácido fosfomolibdotúngstico, el cual presenta un color amarillo, es una sustancia compuesta por dos sales que se encuentran en un entorno ácido, cuando este medio interactúa con compuestos fenólicos y se reduce, se forma un complejo de intenso color azul, la intensidad de dicho color se utiliza para medir y evaluar el contenido de polifenoles en la muestra (Palomino G et al., 2009).

A continuación, se detallan algunos métodos para determinar la capacidad antioxidante

1.6.2 Método ABTS

El radical ABTS⁺ se obtiene tras la reacción de ABTS con persulfato potásico, se incuba a temperatura ambiente y en la oscuridad por 16 horas, produciendo una coloración verde-azulada, dicho radical reacciona con los compuestos polifenólicos presentes en la muestra, oxidándolos, formándose así el ABTS (incoloro), obteniéndose la decoloración del ABTS⁺, la cual es directamente proporcional a la actividad antioxidante (Roth, 2009).

1.6.3 Método FRAP

Se fundamenta en la reducción de hierro férrico, el cual se encuentra presente en reactivo de FRAP, hasta la forma ferrosa, debido a la presencia de antioxidantes, generando una coloración azul de intensa proporcionalidad a la capacidad reductora de la muestra, se produce un complejo ferroso-TPTZ (Antezana et al., 2018). El reactivo FRAP contiene, ácido acético-acetato de sodio (pH 3.6), TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina) y FeCl₃ (Mercado-Mercado et al., 2013).

1.6.4 Método DDPH

Se basa en la reducción del radical estable DPPH a la forma DPPH-H por acción de una sustancia antioxidante, cuando este radical reacciona con una sustancia que es capaz de donar un átomo de hidrogeno (antioxidante) es neutralizado dado como resultado una decoloración del reactivo, la reacción es medida a 515 nm, por diferencia de absorbancia se determina el

porcentaje de la capacidad del radical libre DPPH, este, método es válido para determinar la actividad de eliminación de antioxidantes (Thaipong et al., 2006).

Capítulo dos

Materiales y métodos

2.1 Materia Prima

El limón sutil que fue utilizado como materia prima, este fue adquirido en el Cantón Catamayo ubicado en la provincia de Loja el día 4 de enero del 2023.

2.1.1 *Análisis fisicoquímicos de la materia prima*

La materia prima se lavó con abundante agua, y procedió a separar manualmente el zumo, del subproducto, albedo, flavedo y semilla, para ello se cortó el limón a la mitad, luego se procedió a caracterizar la materia prima, para ello se determinó humedad, color, pH, acidez titulable y °Brix.

2.1.1.1 Humedad. Se pesó 5 g de muestra, se colocó en una cápsula de porcelana previamente preparada, a 100 °C durante 1 hora, transcurrido el tiempo se colocó la cápsula en un desecador durante 30 minutos finalmente se procedió a pesar, se continuó con el mismo proceso hasta obtener un peso constante. Se aplicó el método descrito en la norma AOAC 934.6, (2005). Todos los análisis se realizaron por triplicado.

$$\% \text{Humedad} = (P. \text{ inicial} - P. \text{ final}) / P. \text{ inicial} * 100$$

2.1.1.2 Color. Para establecer el color se trabajó con el colorímetro digital marca C-R14 Konica Minolta, dicho equipo consta con un sistema de coordenadas CIE, donde muestra el valor de las coordenadas Y, x, y, las cuales para ser convertidas al sistema CIE-Lab tienen que ser reemplazadas en las siguientes ecuaciones.

Ecuación 1

$$\text{Croma } C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

Ecuación 2

$$\text{Ángulo } h^\circ = \arctg b^*/a^*$$

Donde Cromo C* muestra la intensidad del color y h° la percepción del color, por otra parte, L* indica la luminosidad a modo de una coordenada espacial, a* el cambio entre el color rojo y verde, finalmente b* el cambio entre el color azul y amarillo.

2.1.1.3 pH. En un vaso de 100 mL se colocó 1 g de muestra (zumo), se añadió 50 mL de agua destilada, se dejó en reposo con agitaciones suaves durante una hora, finalmente se midió el pH utilizando un pH-metro digital marca Mettler Toledo, el cual fue previamente calibrado, dicho método se basó en la norma AOAC 981.12, (2016).

2.1.1.3 Acidez Titulable. Primeramente se homogenizó la muestra, se colocó 2 g de pulpa en un matraz agregando 100 mL de agua destilada, se dispuso a hervir durante una hora, seguido se procedió a reponer el agua perdida por evaporación, una vez frío se trasvaso a una fiola de 500 mL, de la filtración se tomó una alícuota de 20 mL y se procedió a valorar con solución de hidróxido de sodio 0.1 N, usando 0.3 mL de indicador fenolftaleína, se observó el viraje de incoloro a rosa, este método se basó en la norma AOAC 942.15, (2016). Se determinó el resultado obtenido en % de acidez de ácido cítrico, dado que es el que más prevalece en el limón.

Ecuación 3:

$$\% \text{ Acidez} = \frac{N * V * \text{Eq. wt}}{W * 1000} * 100$$

Donde:

N: Normalidad titulable

V: volumen del titulante (mL)

Eq. wt: peso equivalente de ácido predominante (mg/mEq)

W: masa de la muestra

1000: factor de relación mg a g (1/0=100/1000)

2.1.1.4 Grados Brix. Se determinó según el método 932.14 C, por medio de refractómetro, en un vaso de precipitación de 25 mL, se colocó una cantidad considerable de pulpa del limón, previamente se calibró el refractómetro con agua destilada, una vez calibrado se colocaron unas gotas de la pulpa sobre el lente, dado así el resultado, el procedimiento se realizó por duplicado.

2.1.2 Obtención del extracto del subproducto de limón

Se trabajó con todo el subproducto, albedo, flavedo y sacos de zumo, a excepción de la semilla. Para obtener el extracto se realizó una maceración, manejando condiciones previamente determinadas por el grupo de investigación INDETEC, para dicho proceso de extracción se utilizó 66 g de la muestra que previamente fue cortada en pedazos pequeños y se colocó en frascos boeco con 134 mL solvente (50-50 Etanol-Agua v/v) a una temperatura de 65 °C durante 2 horas, en constante agitación. Finalmente se filtró para separar el subproducto del extracto.

2.1.3 Obtención del extracto purificado

Para realizar la purificación de los extractos, se utilizó dos tipos de adsorbentes, carbón activado y gel de sílice. En frascos plásticos se colocó 200 mL de extracto, donde se agregó 10 g de carbón activado, mientras que en otros 200 mL de extracto 20 g de carbón activado. En ambos casos se dejó reposar durante 24 horas. Se aplicó el mismo procedimiento con la sílica, cada uno de los procedimientos se realizó por triplicado, transcurridas las 24 horas se filtró al vacío cada uno de los extractos para separar el adsorbente del extracto purificado.

2.1.4 Proceso de atomización de extractos purificados

El producto atomizado se obtuvo a partir de extractos purificados del subproducto del limón, se utilizó el equipo atomizador mini spray (BUCHI B-290), empleando condiciones preestablecidas por el grupo de investigación INDETEC de la UTPL, temperatura de entrada de aire de 130°C, flujo de bomba de alimentación 20%, como encapsulante gelatina y %5 de sólidos en cada extracto.

2.1.5 Dilución del producto atomizado

Para proceder a determinar fenoles totales y capacidad antioxidante se realizó la dilución de los polvos atomizados a una concentración de 30000 ppm, para lo cual se tomó 120 mg del producto y 5 mL de solvente (50-50 Etanol-Agua v/v), para disolver en su totalidad se expuso durante 5 minutos a baño maría.

Para determinar DPPH se realizó una dilución 1:1 (100 µL muestra; 1000 µL etanol), a partir de la concentración 30000 ppm

2.1.6. Determinación de capacidad antioxidante y fenoles totales

Se utilizaron tres métodos diferentes para determinar la actividad antioxidante: DPPH, ABTS y FRAP, el objetivo es obtener una comprensión más completa de la actividad antioxidante, adicionalmente se evaluó el contenido de fenoles totales para determinar el índice general de compuestos antioxidantes.

Para determinar ABTS, se realizó rotavaporación de los extractos purificados, para alcanzar una mayor concentración de los extractos.

La cantidad de fenoles totales y capacidad antioxidante se determinó tanto a los extractos como a los productos atomizados obtenidos.

La concentración para determinar capacidad antioxidante y fenoles totales del extracto obtenido por maceración es de 28000 ppm, mientras que la concentración de los extractos purificados es de 27000 ppm.

2.1.6.1 Determinación del contenido de fenoles. Se preparó una solución a 0.25 N de Folin-Ciocalteu y una solución de carbonato de sodio a 1 N.

Para realizar la curva de calibración, inicialmente se preparó la solución madre de ácido gálico a una concentración de 1.95 mg/mL, para ello se pesó 20 mg de ácido gálico y aforó con 10 mL de etanol, de dicha solución se tomaron alícuotas de 0.0, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, mL las cuales fueron aforadas con 10 mL de etanol.

Para la lectura de las muestras, así como la de los estándares se procedió de la siguiente forma: se tomó 150 μL de muestras, adicionando 2400 μL de agua destilada y 150 μL de Folin-Ciocalteu, se agitó por 2 minutos y dejó reaccionar 3 minutos, seguido se agregó 300 μL de carbonato de sodio, se dejó reaccionar durante 2 horas en la oscuridad, finalmente se realizó la lectura a 725 nm.

2.1.6.2 Determinación FRAP. Inicialmente se procedió a la preparación de la solución de trabajo FRAP, para ello se prepararon, tres soluciones (1) Buffer de Acetato, (2) TPTZ 10 mM, (3) Solución de Cloruro Férrico 20 mM, se mezclaron en volúmenes de 25, 2.5 y 2.5 mL respectivamente y se dejó incubar a 37 °C.

Para realizar la curva de calibración se preparó la solución madre Trolox a una concentración de 1029 μmol , para ello se pesó 12.5 mg trolox y aforo 50 mL etanol de dicha solución se tomaron alícuotas de 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 mL agregando 10 mL de etanol.

La lectura de muestra y estándares siguieron el mismo procedimiento siguiente: se tomó 150 μL de muestra, adicionando 2850 μL de Solución de trabajo, se dejó reaccionar 30 minutos en la oscuridad, se procedió a realizar la lectura a 593 nm.

2.1.6.3 Determinación ABTS. Primeramente, se prepararon dos soluciones (1) Solución 7.4 mM ABTS y (2) Solución 2.6 mM de Persulfato de Potasio, se mezclaron volúmenes iguales dejando reaccionar 12 horas a temperatura ambiente dando como resultado la solución madre. Seguido se preparó la solución de trabajo ABTS, que consistió en tomar 1 mL de la solución madre y adicionar 60 mL de etanol aproximadamente, se ajustó la absorbancia a 1.1 para realizar el ajuste se midió a 734 nm. Agregando etanol si la absorbancia se encontraba en 1.12 y agregando solución madre si se encontraba en 1.08.

Para realizar la curva de calibración se siguió el procedimiento utilizado para preparar la solución madre Trolox, una vez lista, de dicha solución se tomaron alícuotas de 0.2, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 mL agregando 10 mL de etanol.

La lectura de muestra y estándares siguieron el siguiente procedimiento: se tomó 150 μL de muestra, se adicionó 2850 μL de solución de trabajo y se dejó reaccionar 2 horas en la oscuridad, se realizó la lectura a 734 nm.

2.1.6.4 Determinación DPPH. Primeramente, se preparó la solución madre, para la cual se disolvió reactivo DPPH en 100 ml de etanol. Seguido se preparó la solución de trabajo DPPH, que consistió en tomar 10 mL de la solución madre y adicionar 45 mL de etanol aproximadamente, se ajustó la absorbancia a 1.1 para realizar el ajuste se midió a 515 nm. Agregando etanol si la absorbancia se encontraba en 1.12 y agregando solución madre si se encontraba en 1.08.

En la curva de calibración se siguió el mismo procedimiento para preparar la solución madre Trolox una vez lista, de dicha solución se tomaron alícuotas de 0.2, 1, 2, 3,4,5 y 6 mL agregando 10 mL de etanol.

La lectura de muestra y estándares siguieron el siguiente procedimiento: se tomó 150 μL de muestra, adicionando 2850 μL de Solución de trabajo, se dejó reaccionar 24 horas en la oscuridad, se procedió a realizar la lectura a 515 nm.

2.1.7. Pruebas para realizar el análisis sensorial de los productos atomizados

Previo al análisis sensorial se realizaron dos pruebas, la primera consistió en: tomar 0.5 g del producto atomizado y se procedió a disolver en 3 mL de agua destilada, a 70 °C durante 1 minuto, presentando una consistencia espesa y pegajosa, la cual se gelatinizó rápido. La segunda prueba residió en tomar 0.3 g del polvo atomizado disolver en 5 mL a 30°C durante 5 minutos la consistencia presentada aquí fue ligera y poco pegajosa y su gelatinización fue lenta.

2.1.8 Análisis sensorial de los productos atomizados

Una vez realizadas las pruebas, las condiciones seleccionadas para realizar la disolución, para proceder al análisis sensorial, mediante una prueba hedónica utilizando: 0.3 g de producto atomizado en 0.5 mL de agua destilada a 30 °C durante 5 minutos.

Realizada la dilución se procedió con el análisis sensorial, utilizando la prueba hedónica, el cual se realizó con ayuda de tres catadores, a los cuales se les dio a saborear los cuatro extractos purificados, y el extracto que no fue purificado, así mismo se les presentó una escala para que procedieran a seleccionar según su gusto.

Capítulo tres

Discusión de resultados

3.1 Propiedades de la materia prima

Según lo indicado en el procedimiento establecido, una vez que el limón sutil, materia prima en cuestión, fue ingresada en las instalaciones del laboratorio de alimentos UTPL, se procedió a evaluar sus características físicas y químicas antes de iniciar su procesamiento. Esta medida se tomó con el propósito de garantizar la calidad, los datos resultantes de esta evaluación se encuentran detallados en la tabla 3.

Tabla 3

Propiedades de la materia prima

Parámetro	Cáscara	Pulpa	Extracto
pH		2.75 ± 0.01	
Acidez (% ácido cítrico)		5.80 ± 0.01	
°Brix		9.00 ± 0.60	
% Humedad	3.1 ± 0.10		
Sólidos totales			2.1 ± 0.01
Color	L*	51.12	
	a*	-11.12	
	b*	27.72	

Nota. Los datos presentes en esta tabla representan la desviación estándar de tres repeticiones de cada evaluación realizada sobre la materia prima.

En esta sección discutiremos los resultados obtenidos en relación con los parámetros de interés: pH, acidez °Brix, sólidos totales y color (L*, a*, b*), los cuales se encuentran distribuidos entre la cáscara, pulpa y extracto.

En relación con los resultados obtenidos de la pulpa de limón, se obtienen valores de pH, acidez, °Brix, similares a los reportados por Puente Huera, (2006), mientras que los valores obtenidos por Villalba et al., (2005) son mayores a comparación de los obtenidos en el presente trabajo, dicha discrepancia puede ser atribuida a las condiciones del cultivo, principalmente tiene

gran influencia el clima y la temperatura, puesto que en un rango por debajo de 10 °C y por encima de 39°C, la actividad metabólica de las plantas experimenta una interrupción casi completa (R. González & Tullo, 2019).

Dentro de los parámetros medidos en la cáscara de limón se encuentran los datos de la humedad que coinciden con los obtenidos por Ghanem et al., (2012) reportando así, datos de 3.01 ± 0.1 . El sistema CIEL es responsable de medir el color en el cual la coordenada L^* indica la luminosidad de la muestra, que es determinada por los valores a^* y b^* . Conesa et al., (2019) presenta resultados similares a los nuestros con datos de $L^* 51$, a^*-10 , b^*27 , dichas coordenadas representan: L^* variación de blanco a negro, en cuanto a^* presenta valores negativos para colores verdes y b^* presenta valores positivos en colores amarillentos (Pathare et al., 2013).

Con los valores de pH, acidez y °Brix es posible inferir con dichos hallazgos que los limones empleados se encontraban en sus primeros días de madures, puesto que sus niveles de acidez se encontraban altos.

El contenido de sólidos en el extracto acuoso sin purificar se obtuvo con un porcentaje de 2.1 ± 0.01 , el cual se empleó como punto de partida para proceder a realizar la purificación con los diferentes adsorbentes tales como: carbón activado y sílica una vez purificados se prepararon para ser atomizados utilizando gelatina como encapsulante para llegar a una concentración de sólidos del 5%. Es relevante mencionar que, en comparación con el porcentaje de sólidos reportados por Indriyani et al., (2023) los valores corresponden a 1.97% considerándose cercanos.

3.2 Rendimiento de la materia prima

De 3.51 kg de limón desinfectado (lavado), se obtuvo 54.13 % (1.9 kg) de subproducto (cáscara fresca), de semilla 1.71% (0.06 kg) y de jugo 43.30% (1.52 L), se trabajó únicamente con la corteza la que fue troceada obteniendo 1,8 Kg, y al pasar por el proceso de extracción (maceración) se obtuvo 3.5 L de extracto puro. El proceso de purificación se realizó en 200 mL de extracto con cada absorbente, dicho proceso se efectuó por triplicado, finalmente se procedió

atomizar los extractos purificados, obteniendo en total 21.77 gr de producto atomizado. Medina, (2007), obtuvo datos cercanos de rendimiento de subproducto (58.56%), de jugo (36.19%), de semilla (2.16%).

3.3 Cuantificación de fenoles totales y capacidad antioxidante de extracto

Se realizó la determinación de actividad antioxidante y fenoles totales del extracto principal obtenido por maceración para determinar cómo varía esta actividad, previo a la purificación de los extractos, los resultados se muestran en la tabla 4 y 5.

Tabla 4

Resultados de actividad antioxidante de extracto de subproducto de limón no purificado

Método de determinación	Extracto
ABTS	7.30 ± 0.08 µmol ET/g
FRAP	8.10 ± 0.01 µmol ET/g
DPPH	1628.30 ± 5.80 µmol ET/g

Tabla 5

Resultados de fenoles totales de extracto de subproducto de limón no purificado

Método de determinación	Extracto
Fenoles Totales	2.26 ± 0.04 mg EAG / 100g muestra

La capacidad antioxidante y cantidad total de compuestos fenólicos presentes en un extracto están influenciados por diversos elementos que incluye: la metodología de extracción, como la duración del proceso, la proporción de volumen entre el solvente y la muestra, además se encuentra las propiedades químicas del solvente (González-Montelongo et al., 2010).

Domínguez et al., (2018) en su investigación reportó fenoles totales en cáscara de limón que corresponden a 0.96 EAG mg/100 g muestra, cabe mencionar que la metodología de extracción es diferente en cuanto al disolvente utilizado ya que utilizó Metanol, la cuantificación se realizó por el método Folin-Ciocalteu, comparando estos resultados con los obtenidos en esta investigación se puede evidenciar que estos valores se encuentran relacionados, sin embargo

las variaciones podría deberse a utilización del disolvente puesto que según González-Montelongo et al., (2010) el etanol es uno de los solventes que puede extraer mayor cantidad de compuestos fenólicos presentes en las frutas y su mezcla con agua hace la extracción mucho mejor, esta afirmación justifica el porqué del valor mayor reportado en este trabajo a comparación del reportado en la bibliografía.

Stuart, (2022), en su investigación reporta valores de ABTS y DPPH correspondientes a $69.54 \pm 0.58 \mu\text{mol ET}/100 \text{ g}$, $714.58 \pm 9,97 \mu\text{mol ET}/\text{g}$, respectivamente, cuyos valores a comparación con los obtenidos en el presente trabajo presentan una gran discrepancia, en Indriyani et al., (2023) los datos para FRAP es de $181.034 \mu\text{mol}/\text{g}$, adicionalmente se encuentra en la bibliografía que el método para la extracción es diferente al nuestro, lo que explica la diferencia de los valores ya que cada método causa un efecto diferente en la muestra.

3.4 Cuantificación de Fenoles Totales y capacidad Antioxidante de extractos purificados

En los extractos purificados se determinó la actividad antioxidante y fenoles totales, los resultados obtenidos mediante los métodos ABTS, DPPH y FRAP están presentados en la tabla 6, mientras los resultados relativos al contenido de fenoles totales, analizados mediante el método Folin-Ciocalteu, están detallados en la tabla 7.

Tabla 6

Resultados de actividad antioxidante para extractos purificados

Método de determinación	Extracto purificado			
	C. activado 20g (A)	C. activado 10g (B)	Sílica 20g (C)	Silica 10g (D)
ABTS $\mu\text{mol ET}/\text{g}$ muestra	$6.29 \pm 0.18^{\text{abc}}$	$6.46 \pm 0.20^{\text{abcd}}$	$6.65 \pm 0.07^{\text{abcd}}$	$6.73 \pm 0.10^{\text{bdc}}$
FRAP $\mu\text{mol ET}/\text{g}$ muestra	$5.28 \pm 0.34^{\text{acd}}$	$3.34 \pm 0.27^{\text{b}}$	$4.75 \pm 0.27^{\text{acd}}$	$5.47 \pm 0.22^{\text{cd}}$
DPPH $\mu\text{mol ET}/\text{g}$ muestra	$932.03 \pm 24.10^{\text{ab}}$	$929.76 \pm 36.47^{\text{ab}}$	$999.92 \pm 19.80^{\text{c}}$	$1144.06 \pm 18.24^{\text{d}}$

Nota: Los datos de esta tabla representan la desviación estándar de tres repeticiones, las letras minúsculas diferentes colocadas como superíndices en cada columna representan la diferencia significativa ($p < 0,05$) para cada adsorbente, en los diferentes métodos.

Tabla 7

Resultados de fenoles totales para extractos purificados de subproducto de limón

Método de determinación	Extracto purificado			
	C. activado 20 g	C. activado 10 g	Silica 20 g	Silica 10 g
Fenoles Totales				
mg EAG / 100g muestra	2.03 ± 0.04 ^{abcd}	1.99 ± 0.09 ^{abcd}	2.07 ± 0.07 ^{abcd}	2.10 ± 0.09 ^{abcd}

Nota. Los datos de esta tabla representan la desviación estándar de tres repeticiones, las letras minúsculas diferentes ubicadas como superíndices en cada columna indican que no existe diferencia estadística significativa ($p < 0,05$).

Se realizó la determinación de actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales de los extractos purificados con carbón activado y silica, con la finalidad de lograr determinar si existe diferencia al aplicar los diferentes adsorbentes, a su vez establecer si es factible realizar un proceso de purificación, así mismo cuanto influye en la actividad antioxidante y fenoles totales.

El estudio realizado por Gunathilake, (2018) presenta similitudes al presente trabajo de investigación, pues reporta datos de $6.13 \pm 0.2 \mu\text{g GAE/g}$ en fenoles totales antes de realizar el proceso de purificación con carbón activado, una vez realizado dicho proceso reporta valores de $4.50 \pm 0.3 \mu\text{g GAE/g}$, indicando que la actividad de antioxidantes varia tras realizar el mismo procedimiento, es decir los valores después de la purificación disminuyen considerablemente, cabe mencionar que la purificación con el carbón activado de igual forma se realizó en diferentes cantidades, tal y como se describe en la tabla 5 y 6, en donde se detalla los datos obtenidos de la determinación de la capacidad antioxidante del extracto de subproducto de limón no purificado, y se puede verificar la disminución de los valores al realizar el proceso de purificación.

Se puede inferir que al emplear adsorbentes en la purificación de los extractos, se reduce la presencia del sabor amargo característico de la cáscara del limón, se detallara en el apartado 3.6 este tema, no obstante esta técnica tiene un impacto en la cantidad de compuestos fenólicos

y en la actividad antioxidante, según Frederick et al. (2015) la cantidad de compuestos fitoquímicos presentes de manera natural tiende a disminuir o desaparecer en el transcurso del proceso de desamargado, esto se debe a la creencia de que estos compuestos restan calidad, desde la eficacia de la resina de adsorción en los extractos cítricos, hasta la notable reducción en los niveles de elementos naturales, incluyendo flavonoides como la narirutina, hesperidina y limonoides.

Los datos de la metodología ABTS presentados en la tabla 6 indican claramente diferencias entre el extracto purificado con 20g de carbón activado y el extracto purificado con 10g de sílice. La diferencia entre estos valores es de $0.44 \mu\text{mol ET/g}$ muestra. Es importante señalar que estos valores son menores en comparación con el extracto no purificado que registra un valor de $7.30 \pm 0.08 \mu\text{mol ET/g}$ en la tabla 4.

En cuanto a la metodología FRAP, se observa una diferencia significativa en el extracto purificado con 10g de carbón activado, ya que su valor disminuye en relación con los demás extractos obtenidos. Comparando estos valores con el extracto sin purificar de la tabla 4, se aprecia una disminución significativa de $8.10 \pm 0.01 \mu\text{mol ET/g}$ a $5.47 \pm 0.22 \mu\text{mol ET/g}$.

Utilizando el método de determinación denominado DPPH, se identifica una diferencia significativa entre el extracto obtenido mediante la purificación con carbón activado y sílice. Sin embargo, esta diferencia radica en la cantidad de sílice utilizada para la extracción, ya que se observa un aumento en la actividad antioxidante al utilizar una menor cantidad de sílice. Si comparamos estos valores con el extracto no purificado de la tabla 4, se determina que la actividad antioxidante disminuye al utilizar los purificadores. El extracto sin purificar, como se describe en la tabla 4, tiene un valor de $1628.30 \pm 5.80 \mu\text{mol ET/g}$, mientras que el valor máximo obtenido para el extracto purificado, independientemente del purificador utilizado, es de $1144.06 \pm 18.24 \mu\text{mol ET/g}$.

En lo que respecta a los fenoles totales determinados en los extractos, no se observan diferencias significativas entre los diferentes purificadores utilizados. Sin embargo, es importante

notar que el extracto no purificado tiene un valor de 2.26 ± 5.80 mg EAG/100g de muestra, en comparación con los extractos purificados, donde el valor más alto registrado es de 2.10 ± 0.09 mg EAG/100g de muestra. Por lo tanto, se puede concluir que el tipo de purificador aplicado afecta la capacidad antioxidante del extracto.

3.5 Cuantificación de Fenoles Totales y capacidad Antioxidante de extractos purificados atomizados

Tabla 8

Resultados de antioxidantes del producto atomizado

Método de determinación	Extractos purificados atomizados			
	C. activado 20 g	C. activado 10 g	Silica 20 g	Silica 10 g
ABTS				
μmol ET/g muestra	6.29 ± 0.1^{abc}	6.47 ± 0.2^{abcd}	6.66 ± 0.07^{abcd}	6.73 ± 0.1^{dbc}
FRAP				
μmol ET/g muestra	4.45 ± 0.08^a	6.03 ± 0.09^{bcd}	6.21 ± 0.27^{bcd}	6.02 ± 0.07^{bcd}
DPPH				
μmol ET/g muestra	933.19 ± 24.13^{abc}	930.94 ± 36.53^{abc}	1001.12 ± 19.52^{abc}	1145.49 ± 18.27^d

Nota: Los datos de esta tabla representan la desviación estándar de tres repeticiones, las letras minúsculas diferentes colocadas como superíndices en cada columna representan la diferencia significativa ($p < 0,05$) para cada adsorbente en los diferentes métodos.

Tabla 9

Resultados de fenoles totales del producto atomizado

Método de determinación	Extractos purificados atomizados			
	C. activado 20 g	C. activado 10 g	Silica 20 g	Silica 10 g
Fenoles Totales				
mg EAG /100g muestra	1.50 ± 0.01^a	1.79 ± 0.04^{bcd}	1.72 ± 0.03^{db}	2.77 ± 0.04^{bcd}

Nota: Los datos de esta tabla representan la desviación estándar de tres repeticiones, las letras minúsculas diferentes colocadas como superíndices en cada fila representan la diferencia significativa ($p < 0,05$) para cada adsorbente.

En la tabla 8, se presentan los resultados correspondientes a la capacidad antioxidante, revelando similitudes en los datos obtenidos a través de los distintos métodos. Por otro lado, en la tabla 9, se detallan los resultados de los fenoles totales, los cuales muestran valores cercanos entre sí.

Después de realizar un análisis estadístico de la tabla 8, se ha determinado una diferencia significativa. En el método ABTS, se observa una variación entre los valores de los adsorbentes utilizados, dependiendo de la cantidad empleada para obtener los extractos. Por ejemplo, el valor aumenta al utilizar 10g de sílica, alcanzando un valor de $6.73 \pm 0.1 \mu\text{mol ET/g}$ muestra. Al comparar este valor con el extracto no purificado, que registra un valor de $7.30 \pm 0.08 \mu\text{mol ET/g}$ muestra, se evidencia una disminución en la capacidad antioxidante.

En el método FRAP, se observa una diferencia significativa en comparación con el carbón activado (20g), ya que el valor es menor en este caso en relación con los otros adsorbentes utilizados en el desarrollo del presente trabajo. Asimismo, al comparar con el extracto no purificado, se nota una diferencia notable, ya que disminuye desde un valor de $8.10 \pm 0.01 \mu\text{mol ET/g}$ a un valor de $4.45 \pm 0.08 \mu\text{mol ET/g}$ (carbón activado 20g).

En lo que respecta a la determinación mediante el método DPPH, se observa una diferencia entre los adsorbentes, especialmente en el extracto obtenido con 10g de sílica, que muestra un valor de $1145.49 \pm 18.27 \mu\text{mol ET/g}$ muestra. Al comparar este valor con el extracto patrón (extracto sin purificar), se aprecia una disminución significativa, ya que el valor del extracto sin purificar es de $1628.30 \pm 5.80 \mu\text{mol ET/g}$.

Cuando comparamos los valores de los fenoles totales, se concluye que hay una diferencia al utilizar 10g de sílice, que resulta ser el valor más alto entre los distintos adsorbentes mencionados anteriormente. Al comparar este valor con el extracto patrón, se observa un aumento en la actividad antioxidante al utilizar 10g de sílica.

Tolun et al., (2016) indica que el aumento en la capacidad antioxidante se origina en las fases iniciales que tienen lugar durante el calentamiento, provocando la creación de capas

externas en las partículas, al mismo tiempo se estima que a medida que aumenta la porción de material encapsulante, se logra una retención superior de la capacidad antioxidante en las muestras atomizadas por lo tanto los valores previos y después del proceso de atomización se mantienen iguales, por lo que los encapsulantes juegan un papel importante en dicho proceso, ya que proporciona la estabilidad de los productos.

3.6 Análisis sensorial de los productos atomizados

El análisis sensorial se realizó con el fin de conocer si aún estaba presente el sabor amargo en los extractos purificados, en la tabla 10 se muestran los resultados.

Tabla 10

Análisis sensorial de productos atomizados

Muestra	Escala de sabor				
	1	2	3	4	5
Gel Sílice de 20 g		X			
Gel de Sílice 10 g			X		
Carbón activado 20 g			X		
Carbón activado 10 g			X		

Nota: En la tabla se describe la codificación brindada para la prueba hedónica en donde: 1: Muy leve, 2: Leve, 3: Moderado, 4: Fuerte, 5: Muy fuerte.

Después de realizar la catación, se llegó a la conclusión de que, desde el punto de vista sensorial, se logró minimizar el sabor amargo de los extractos purificados. Esta evaluación se llevó a cabo con catadores que coincidieron en describir un sabor amargo moderado en los cuatro productos atomizados, con la única excepción de un voluntario que reportó un sabor leve. Esto se alinea con los resultados de las pruebas sensoriales realizadas por Gunathilake en 2018, quien indicó que, a pesar de haber utilizado diferentes cantidades de carbón activado, no se observaron diferencias significativas en cuanto al sabor amargo de los extractos purificados en comparación con la muestra no purificada.

Conclusiones

Se consiguió eliminar parte del sabor amargo del subproducto del limón con cada uno de los adsorbentes carbón activado y Gel Sílice, los cuales se trabajaron en cantidades de 10 g y 20 g, valores aplicados por cada adsorbente.

Se obtuvo los productos atomizados a partir de los extractos purificados, provenientes del subproducto del limón específicamente incluye, albedo, flavedo.

Se logró la determinación de antioxidantes y fenoles totales, tanto del extracto sin purificar, como de los purificados incluyendo los productos atomizados.

Se realizó el análisis estadístico entre los adsorbentes y se logró determinar que, si existe diferencia estadística entre los adsorbentes para la actividad antioxidante, mientras que para el contenido de fenoles totales no existe diferencia.

El análisis sensorial entre los extractos purificados atomizados y el extracto no purificado atomizado se consiguió establecer que si existe diferencia en cuanto al sabor amargo.

Recomendaciones

Para un mejor conocimiento de los antioxidantes y fenoles totales retenidos en el adsorbente se recomienda analizar el carbón activado y el gel de sílice utilizados en este trabajo.

Respectos a los polvos atomizados para determinar sus características, se recomienda que se realicen pruebas de pH, humedad, acidez titulable y densidad para tener conocimiento del producto atomizado.

Se recomienda que los adsorbentes no se encuentre mucho tiempo en contacto con los extractos a purificar, ya que entre más tiempo interaccionan podría decirse que abarca gran cantidad de antioxidantes y fenoles.

De ser posible realizar el análisis sensorial, con un mayor número de catadores para alcanzar una mayor precisión en los resultados, con respecto al sabor amargo.

Referencias

- Aguilera, E., Sanchez, M., & Ortiz, J. (2012). Adsorbentes para la deshidratación de gas húmedo dulce: avances y tendencias. *Corporación Mexicana de Investigación En Materiales S.A. de C.V.*, XXXIII(1), 47–63.
- Antezana, A. R., Vizaluque, B., Aliaga-Rossel, E., Tejeda, L., Mollinedo, P., & Peñarrieta, M. (2018). Determination of the total antioxidant capacity, total phenols, and the enzymatic activity in a non-dairy beverage based on grains of the chenopodium quinoa. *Revista Boliviana de Química*, 35(5), 168–176. <https://www.redalyc.org/journal/4263/426358213006/html/>
- Arroyo, P., Mazquiarian, L., Rodriguez, P., Valero, T., Ruiz, E., Ávila, J., & Valera, G. (2018). Frutas y hortalizas: Nutrición y Salud. In *Fundación Española de la Nutrición (FEN)*.
- Bouayed, J., & Bohn, T. (2010). Exogenous antioxidants - Double-edged swords in cellular redox state: Health beneficial effects at physiologic doses versus deleterious effects at high doses. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 3(4), 228–237. <https://doi.org/10.4161/oxim.3.4.12858>
- Carriazo, J. G., Saavedra, M. J., & Molina, M. F. (2010). Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educación Química*, 21(3), 224–229. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(18\)30087-9](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(18)30087-9)
- Cartaya, O., & Reynaldo, I. (2001). Reseña bibliográfica flavonoides: características químicas y aplicaciones. Cartaya e Inés Reynaldo. *Cultivos Tropicales*, 22(2), 5–14.
- Colombo, A. (2020). *Cultivar los cítricos ornamentales y de fruto* (Parkstone International (ed.)). https://books.google.com.ec/books?id=X90WEAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=citricos+historia&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

- Conesa, A., Manera, F. C., Brotons, J. M., Fernandez-Zapata, J. C., Simón, I., Simón-Grao, S., Alfosea-Simón, M., Martínez Nicolás, J. J., Valverde, J. M., & García-Sánchez, F. (2019). Changes in the content of chlorophylls and carotenoids in the rind of Fino 49 lemons during maturation and their relationship with parameters from the CIELAB color space. *Scientia Horticulturae*, 243(August 2018), 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.030>
- Creus, E. V. A. G. (2004). Compuestos fenólicos. *Elsevier*, 23, 80–84.
- Diplock, A. T., Charuleux, J.-L., Crozier-Willi, G., Kok, F. J., Rice-Evans, C., Roberfroid, M., Stahl, W., & Viña-Ribes, J. (1998). Functional food science and defence against reactive oxidative species. *British Journal of Nutrition*, 80(S1), S77–S112. <https://doi.org/10.1079/bjn19980106>
- Domínguez, E., RevIA, E. O.-, & 2018, U. (2018). Evaluación de la actividad antioxidante, vitamina c de zumos cítricos de lima dulce (*Citrus limetta*), limón tahití (*Citrus latifolia*), limón rugoso (*Citrus jambhiri*). *Revistas.Unas.Edu.Pe*, 3(1), 8. <http://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/download/78/63>
- Dzul, L. V. B. (2014). *Obtención de extractos polifenólicos con actividad biológica a partir de harinas elaboradas con subproductos de limon italiano tesis.*
- Egas-Astudillo, L. A. (2015). *Optimización del proceso de atomización de pomelo. Influencia de la temperatura y de la adición de diferentes solutos de alto peso molecular.* [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57151/TFM Luis Egas Astudillo.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/57151/TFM_Luis_Egas_Astudillo.pdf?sequence=1)
- Estrada, H. H., Restrepo, C. E., Saumett, H. G., & Pérez, L. (2018). Osmotic dehydration and hot air drying on mango, guava and lemon to obtain functional ingredients. *Informacion Tecnologica*, 29(3), 197–204. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300197>
- Fabiana Meijon Fadul. (2019). Flavonoides. *Food Chemistry*, 21(4), 108–113.

- Frederick M. Morgan Kevin J. Dowling Ihor A. Lys Brian Roberge Ryan C. Williamson Ron Roberts Mike Datta Tomas Mollnow. (2015). *Es @ Patents.Google.Com*.
<https://patents.google.com/patent/ES2556264T3/es?q=focos+led+con+regulación+de+iluminación&oq=focos+led+con+regulación+de+iluminación>
- Ghanem, N., Mihoubi, D., Kechaou, N., & Mihoubi, N. B. (2012). Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products*, 40(1), 167–177.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.03.009>
- González-Montelongo, R., Gloria Lobo, M., & González, M. (2010). Antioxidant activity in banana peel extracts: Testing extraction conditions and related bioactive compounds. *Food Chemistry*, 119(3), 1030–1039. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.012>
- González, I. N., Periago, M. J., & Alonso, F. J. G. (2017). Estimación de la ingesta diaria de compuestos fenólicos en la población española. *Revista Espanola de Nutricion Humana y Dietetica*, 21(4), 320–326. <https://doi.org/10.14306/renhyd.21.4.357>
- González, R., & Tullo, C. (2019). Guía Técnica Cultivo De Cítricos. In *Proyecto Paquetes Tecnológicos* - PPT.
https://www.jica.go.jp/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gke-att/gt_03.pdf
- Gunathilake, K. D. P. P. (2018). Effect of active carbon filtration on physico-chemical and effect of active carbon filtration on physico-chemical and Lime is a citrus fruit and *Citrus aurantifolia* (Chrism and fanz) Swingle is the type of lime cultivated in Sri Lanka . Limes are a good. *Annals. Food Science and Technology*, 19(3).
- Hernández-Guiance, S. N., Marino, L., Isern, D. M., Coria, I. D., & Iruzun, I. (2019). Flavonoides: aplicaciones medicinales e industriales. *Invenio*, 22(40), 11–27.

- Indriyani, N. N., Anshori, J. Al, Permadi, N., Nurjanah, S., & Julaeha, E. (2023). Bioactive Components and Their Activities from Different Parts of *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle for Food Development. *Foods*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/foods12102036>
- Jiménez-Morales, K., Ayora-Talavera, T., Cuevas-Bernardino, J. C., Pech-Cohouo, S. C., & Pacheco-López, N. (2020). *Aprovechamiento de frutos, productos y subproductos tropicales. Avances recientes en el sur-sureste de México.*
- Kammerer, J., Carle, R., & Kammerer, D. R. (2011). Adsorption and ion exchange: Basic principles and their application in food processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 22–42. <https://doi.org/10.1021/jf1032203>
- Ledesma-Escobar, C. A., & Luque de Castro, M. D. (2014). Towards a comprehensive exploitation of citrus. *Trends in Food Science and Technology*, 39(1), 63–75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.07.002>
- Martín Gordo, D. A. (2018). Los Compuestos Fenólicos, Un Acercamiento A Su Biosíntesis, Síntesis Y Actividad Biológica. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(1), 81–104. <https://doi.org/10.22490/21456453.1968>
- Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M., & Tuñón, M. J. (2002). Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. *Nutricion Hospitalaria*, 17(6), 271–278.
- Medina, V. (2007). Determinacion de las características físicas y químicas del limón meyer (*Citrus limon*). In *Universidad Técnica del Norte Facultad de Ingeniería en Ciencias. Tesis de posgrado.*
- Mercado-Mercado, G., Carrillo, L. de la R., Wall-Medrano, A., Díaz, J. A. L., & Álvarez-Parrilla, E. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutricion Hospitalaria*, 28(1), 36–46. <https://doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6298>

- Moncayo Luján, M. del R., Reyes Munguía, A., & Carrillo Inungaray, M. L. (2018). Aprovechamiento De Subproductos Agronómicos. *Revista Académica de Investigación TLATEMOANI*, 29, 115–127. <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/index.html>
- Mondragón, R., Julia, J. E., Barba, A., & Jarque, J. C. (2013). El proceso de secado por atomización: Formación de gránulos y cinética de secado de gotas. *Boletín de La Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio*, 52(4), 159–168. <https://doi.org/10.3989/cyv.212013>
- NTE- INEN-1837. (2016). Ecuatoriana Nte Inen 1837. In *Inen*. <http://www.aeade.net/wp-content/uploads/2016/12/PROYECTO-A2-NTE-INEN-2204.pdf>
- Ojeda, C. E. J. (2021). *Una revisión de la obtención de compuestos bioactivos a partir de subproductos de cítricos procesados : fermentación en estado sólido y méto.*
- Palomino G, L. R., García P, C. M., Gil G, J. H., Rojano, B. A., & Durango R, D. L. (2009). Determination of phenolic content and evaluation of antioxidant activity of propolis from Antioquia (Colombia). *Vitae*, 16(3), 388–395.
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Puente Huera, C. J. (2006). Determinación de las características físicas y químicas del limón sutil. In *Universidad Técnica del Norte*. http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/352/2/03_AGI_206_ARTICULO_CIENTIFICO.pdf
- Ramful, D., Bahorun, T., Bourdon, E., Tarnus, E., & Aruoma, O. I. (2010). Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology*, 278(1), 75–87.

<https://doi.org/10.1016/j.tox.2010.01.012>

Romeo Giménez, Luis Miguel, Lara, Yolanda, Lisbona Martín, María Pilar, Bolea, Irene, González, Ana, Lupiáñez, Carlos, Díez Pinilla, Luis Ignacio, Martínez, A. (2010). Captura y almacenamiento de CO₂. In *Prensas de la Universidad de Zaragoza*. https://books.google.com.ec/books?id=DFboDAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s

Roth, J. V. (2009). Prediction interval analysis is underutilized and can be more helpful than just confidence interval analysis. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 23(3), 181–183. <https://doi.org/10.1007/s10877-009-9165-0>

Santistevan Méndez, M., Helfgott Lerner, S., Loli Figueroa, O., & Julca Otiniano, A. (2017). Comportamiento del cultivo del limón (*Citrus aurantifolia* Swingle) en “fincas tipo” en Santa Elena, Ecuador. *Idesia (Arica)*, 34, 45–49. <https://doi.org/10.4067/s0718-342920170050000003>

Siccha, A., & Ugaz, O. L. de. (1995). SECADO POR ATOMIZACION (SPRAY DRYER). *Revista de Química*, 9(1), 39–48.

STUART, V. S. E. (2022). *UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL CARRERA DE QUÍMICA Y FARMACIA TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR EL GRADO DE QUÍMICO Y FARMACÉUTICO MODALIDAD : SEMESTRAL TEMA : ESTUDIO COMPARATIVO DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS LIMONES TAHÍTI.*

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>

- Tolun, A., Altintas, Z., & Artik, N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of Biotechnology*, 239, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.10.001>
- Tomalá, J. L. Q. (2021). *Universidad Estatal Península de Santa Elena RELACIONES MATEMÁTICAS DE LIMÓN SUTIL (citrus Universidad Estatal Península de Santa Elena “ DETERMINACIÓN DE LA PROPIEDADES FÍSICAS Y RELACIONES MATEMÁTICAS DE LIMÓN SUTIL (citrus aurantifolia swingle) CULT.*
- Villalba, M., Yepes, I., & Arrazola, G. (2005). Caracterización Físicoquímica de frutas de la zona del sinu para su agroindustrialización. *Universidad de Córdoba. Departamento de Ingeniería de Alimentos*, 11(4), 15–23.
- Viuda-Martos, M., Fernández-López, J., Sayas-Barbera, E., Sendra, E., Navarro, C., & Pérez-Álvarez, J. A. (2009). Citrus co-products as technological strategy to reduce residual nitrite content in meat products. *Journal of Food Science*, 74(8), 93–100. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01334.x>
- Zamora S. J D. (2007). Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. *Revista Chilena de Nutrición*, 34(1), 23.

Apéndice

Apéndice 1. Equipos y materiales para la caracterización de la materia prima

- Equipos
 - pH metro digital 30 PX, Mettler Toledo
 - Colorímetro digital CR-14 Konica Minolta
 - Rotavapor BUCHI R-200
 - Balanza analítica Ohaus Analytical
 - Estufa Memmert modelo UM 300 Memmert
 - Refractómetro
- Materiales
 - Cápsulas de porcelana
 - Pinzas
 - Espátula

Apéndice 2. Equipos y materiales para realizar el proceso de extracción

- Equipos
 - Baño maría con agitación
 - Balanza analítica Ohaus Analytical
 - Sistema de filtración al vacío
- Materiales
 - Frascos Boheco 500 mL con tapa
 - Magnetos
 - Probeta 100 mL
 - Embudo Buchner
 - Matraz Erlenmeyer
- Reactivos
 - Etanol

Apéndice 3. Equipos y materiales para el proceso de atomización

- Equipos
 - Atomizador mini spray (BUCHI B-290)
 - Baño maría con agitación
 - Balanza analítica Ohaus Analytical
- Materiales
 - Vasos de precipitación 250 mL
 - Magnetos
 - Varilla de agitación (vidrio)

Apéndice 4. Equipos y materiales para determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante.

- Equipos
 - Espectrofotómetro
 - Balanza analítica Ohaus Analytical
- Materiales
 - Vasos de precipitación 100 mL
 - Balones de aforo 25mL, 50 mL, 100 mL
 - Micropipeta 1000 μ L
 - Reactivos
 - ABTS
 - DPPH
 - Trolox
 - TPTZ
 - Carbonato de sodio
 - Folin-Ciocalteu
 - Cloruro Férrico

Ácido gálico

Persulfato de Potasio

Etanol

Agua destilada

Apéndice 5. Cálculos para preparación de reactivos

Reactivos para determinación de antioxidantes se detallan a continuación

- Folin-Ciocalteu 0,25 N

$$C_1V_1=C_2V_2 \text{ despejando } V_1=\frac{C_2*V_2}{C_1}$$

$$V_1=\frac{0.25 \text{ N} * 10 \text{ mL}}{2\text{N}} = 1.25 \text{ mL}$$

- Carbonato de sodio

Peso molecular: 106 g/mol

Equivalente químico: 53 g/mol

$$\begin{array}{rclcl} 53 \text{ g} & \times & 1000 \text{ mL} & \text{---} & 1 \text{ N} \\ X & & 25 \text{ mL} & \text{---} & 1 \text{ N} \end{array}$$

$$X = \frac{53 \text{ g} * 25 \text{ mL} * 1 \text{ N}}{100 \text{ mL} * 1 \text{ N}} = 1.325 \text{ g}$$

- Persulfato de potasio

Peso molecular: 270 g/ mol

$$\begin{array}{rclcl} 270 \text{ g} & \times & 100 \text{ mL} & \text{---} & 1000 \text{ mM} \\ X & & 10 \text{ mL} & \text{---} & 2.6 \text{ mM} \end{array}$$

$$X = \frac{270 \text{ g} * 10 \text{ mL} * 2.6 \text{ mM}}{100 \text{ mL} * 1000 \text{ mM}} = 0,007 \text{ g} = 7 \text{ mg}$$

- ABTS 7.4 mM

Peso molecular: 58.58 g/mol

$$\begin{array}{rcl}
 548.68 \text{ g} & \times & 1000 \text{ mL} \text{ — } 1000 \text{ mM} \\
 X & & 10 \text{ mL} \text{ — } 7.4 \text{ mM}
 \end{array}$$

$$X = \frac{548.68 \text{ g} * 10 \text{ mL} * 7.4 \text{ mM}}{1000 \text{ mL} * 1000 \text{ mM}} = 0.0406 = 40.6 \text{ g}$$

- TPTZ

Peso molecular: 312.33 g/mol

$$\begin{array}{rcl}
 31.33 \text{ g} & \times & 1000 \text{ mL} \text{ — } 1000 \text{ mM} \\
 X & & 25 \text{ mL} \text{ — } 10 \text{ mM}
 \end{array}$$

$$X = \frac{312.33 \text{ g} * 25 \text{ mL} * 10 \text{ mM}}{1000 \text{ mL} * 1000 \text{ mM}} = 0,078 \text{ g} = 78 \text{ mg}$$

- Cloruro Férrico

Peso molecular: 68 g/mol

$$\begin{array}{rcl}
 268 \text{ g} & \times & 1000 \text{ mL} \text{ — } 1000 \text{ mM} \\
 X & & 25 \text{ mL} \text{ — } 20 \text{ mM}
 \end{array}$$

$$X = \frac{268 \text{ g} * 25 \text{ mL} * 20 \text{ mM}}{1000 \text{ mL} * 1000 \text{ mM}} = 0,134 \text{ g} = 134 \text{ mg}$$

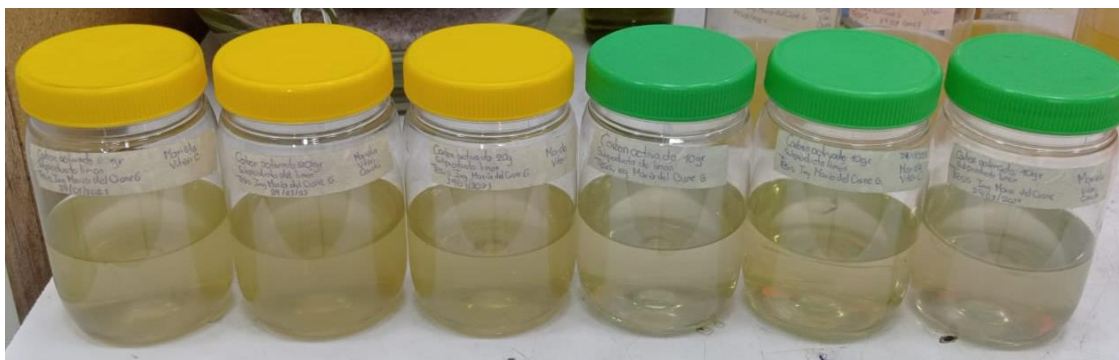
Apéndice 6

Foto del extracto previo a la purificación



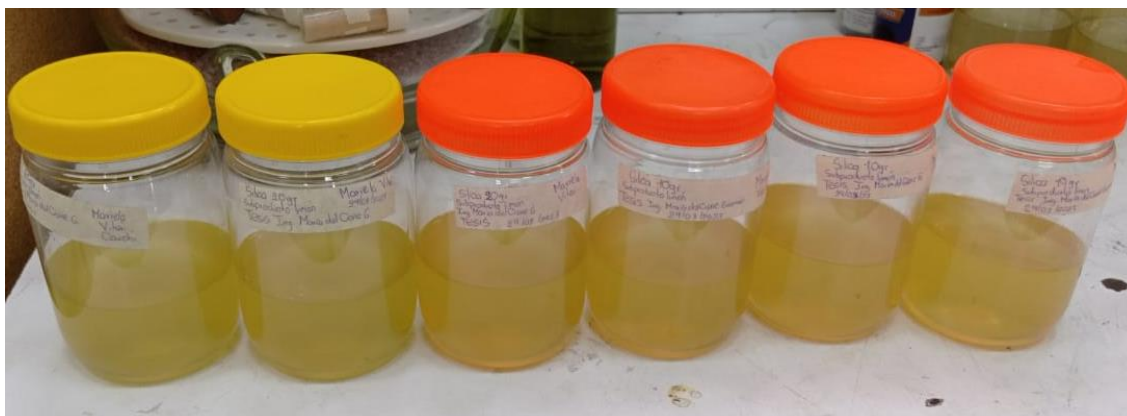
Apéndice 7

Foto de los extractos purificados con carbón activado en 20 g y 10 g respectivamente



Apéndice 8

Foto de extractos purificados con gel de sílice en 20 g y 10 g respectivamente



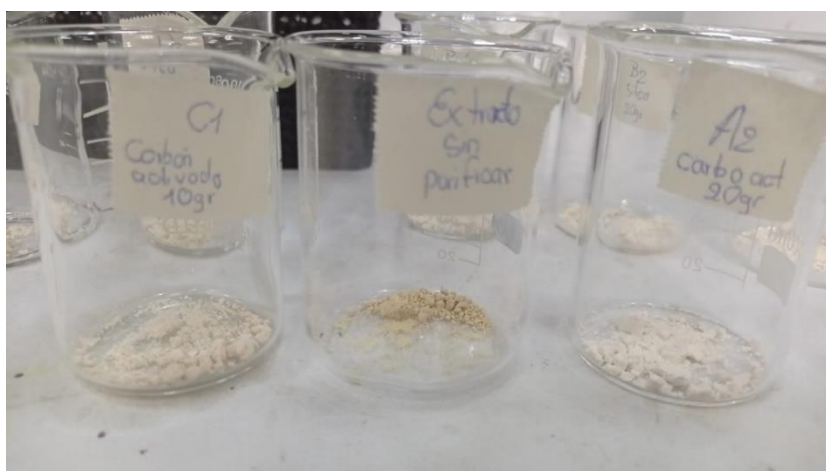
Apéndice 9

Foto del producto atomizado sin purificar



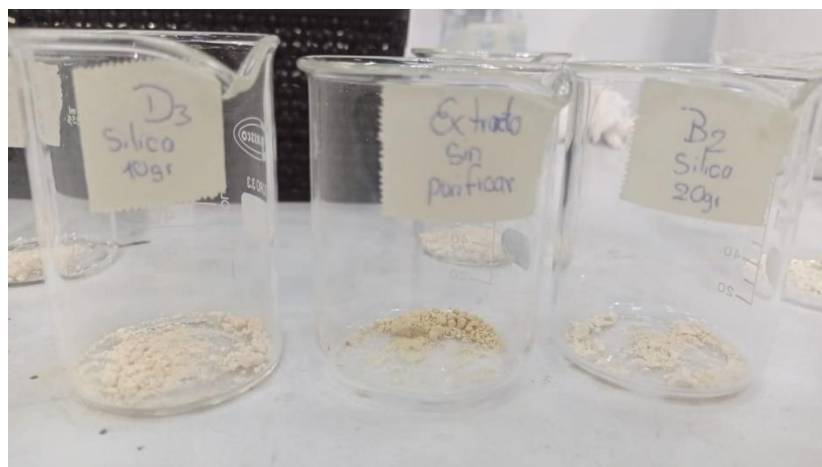
Apéndice 10

Foto de producto atomizado purificado con carbón activado de 10 y 20 g en comparación con el extracto sin purificar



Apéndice 11

Foto de producto atomizado purificado con gel de sílice en 10 y 20 g en comparación con el extracto sin purificar.



Apéndice 11

Productos atomizados disueltos en agua destilada



Apéndice 12

Foto de análisis sensorial por parte de los catadores



Apéndice 13

Análisis de varianza de capacidad antioxidante y fenoles totales, en extractos purificados líquidos.

FRAP

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	9,583154741	3	3,194384914	46,27550413	0,00015311	4,7570627
Columnas	0,193036043	2	0,096518021	1,398209738	0,31734814	5,1432528
Error	0,414178297	6	0,069029716			
Total	10,19036908	11				
LSD	2,96868668	0,214522285	0,6368			

ABTS

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0,35279032	3	0,117596773	4,73427317	0,050484656	4,75706266
Columnas	0,058224487	2	0,029112243	1,17201611	0,371814082	5,14325285
Error	0,14903674	6	0,024839457			
Total	0,560051547	11				
LSD	2,968686684	0,12868426	0,3820			

DPPH

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	90893,46931	3	30297,8231	38,9173701	0,00025073	4,75706266
Columnas	106,838825	2	53,41941249	0,06861691	0,93440627	5,14325285
Error	4671,100285	6	778,5167142			
Total	95671,40842	11				
LSD	2,96868668	22,78181606	67,632074			

Fenoles Totales

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0,018565294	3	0,006188431	2,12150262	0,198832095	4,757062663
Columnas	0,017656799	2	0,0088284	3,026529919	0,123356436	5,14325285
Error	0,017502024	6	0,002917004			
Total	0,053724117	11				
LDS	2,968686684	0,044098405	0,1309			

Apéndice 14

Análisis de varianza de capacidad antioxidante y fenoles totales, en extractos purificados atomizados.

FRAP

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	6,052015253	3	2,0173384	133,48789	6,9971E-06	4,757062663
Columnas	0,030478728	2	0,0152394	1,0083933	0,41923041	5,14325285
Error	0,090675119	6	0,0151125			
Total	6,1731691	11				
LDS	2,9686867	0,1003744	0,29798			

ABTS

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Filas	0,353966196	3	0,117988732	4,73542553	0,05046	4,75706266
Columnas	0,058426072	2	0,029213036	1,17245226	0,371697495	5,14325285
Error	0,149497102	6	0,024916184			
Total	0,561889369	11				
LDS	2,968686684	0,1288285	0,3826			

DPPH

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	91120,77115	3	30373,59038	38,9173604	0,00025073	4,75706266
Columnas	107,1059837	2	53,55299185	0,06861688	0,93440629	5,14325285
Error	4682,782711	6	780,4637852			
Total	95910,65985	11				
	LDS	2,96868668	22,81028694	67,7165951		

Fenoles Totales

ANÁLISIS DE VARIANZA						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>lor crítico para F</i>
Filas	0,157999779	3	0,052666593	37,64450275	0,000275491	4,75706266
Columnas	0,009583099	2	0,00479155	3,424856063	0,101806043	5,14325285
Error	0,008394308	6	0,001399051			
Total	0,175977187	11				
	LDS	2,968686684	0,03054015	0,090664144		