



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

FACULTAD DE CIENCIA EXACTAS Y NATURALES

CARRERA DE ALIMENTOS

Compuestos bioactivos provenientes de subproductos de
remolacha

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN ALIMENTOS

Autor: Valencia Piuri, Kevin Lenin

Directora: Guamán Balcázar, María del Cisne

LOJA
2024



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-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>

2024

Aprobación del director del Trabajo de Integración Curricular

Loja, 12 de septiembre de 2024

Doctor

Jorge Felipe Reyes Bueno

Director de la carrera de Alimentos

Ciudad. -

De mi consideración:

Me permito comunicar que, en calidad de director del presente Trabajo de Integración Curricular denominado: Compuesto bioactivos provenientes de subproductos de remolacha realizado por Kevin Lenin Valencia Piuri, 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 de coincidencia 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 comunicar con el proceso académico correspondiente.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Firma:

María del Cisne Guamán Balcázar, Mgtr.

C.I: 1103648505

Correo electrónico: mcguaman@utpl.edu.ec

Declaración de autoría y cesión de derechos

“Yo, Kevin Lenin Valencia Piuri, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

Ser autor del Trabajo de Titulación denominado: Compuesto bioactivos provenientes de subproductos de remolacha, de la de la carrera Ingeniería en Alimentos, específicamente de los contenidos comprendidos en: Introducción, Capítulo uno. Marco Teórico, Capítulo dos. Metodología y Capítulo tres. Presentación de resultados, Conclusiones y Recomendaciones, siendo María del Cisne Guamán Balcázar, directora del presente trabajo; y, en tal virtud, eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación con la propiedad intelectual. Además, ratifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo son de mi exclusiva responsabilidad.

Que nuestra obra, producto de nuestras 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 UTPL, 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”.

Autorizo a la Universidad Técnica Particular de Loja para que pueda hacer uso de mi obra con fines netamente académicos, ya sea de forma impresa, digital y/o electrónica o por cualquier medio conocido o por conocerse, sirviendo el presente instrumento como la fe de mi completo consentimiento; y, para que sea ingresada 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.

Firma:

Autor: Kevin Lenin Valencia Piuri

C.I.: 1105389272

Correo electrónico: klvalencia@utpl.edu.ec

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento de gran importancia en mi formación profesional. A mi madre Teresa Piuri, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, a mi padre Lenin Valencia por confiar en mi y ser siempre el ejemplo de vida y de superación.

A Geovanny Requelme por ser el consejero de vida por su apoyo incondicional.

Para ustedes con amor y cariño:

Kevin Lenin Valencia Piuri

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme la fortaleza y la oportunidad de completar mis estudios de pregrado, a mi familia por su apoyo y las alegrías que me han brindado.

A mi tutora Mg. Sc. María del Cisne Guamán Balcázar por su guía durante la elaboración.

Gracias principalmente por la paciencia, la orientación, la confianza, la predisposición de ayudarme, por los llamados de atención. Gracias por todo.

Al director de la carrera Mg. Sc. Jorge Felipe Reyes Bueno por estar pendiente en todo momento de mi trabajo de fin de titulación por la paciencia, por los llamados de atención.

Gracias por todo.

A los docentes del Departamento de Química, quienes compartieron sus conocimientos y fueron parte de este proceso de aprendizaje en mi caminar universitario.

A mis compañeros de aula por todas las experiencias vividas.

A mi novia Gabriela Guarnizo, por su apoyo incondicional, por su motivación cuando me quería rendir.

Gracias a todos.

Índice de Contenido

Carátula.....	I
Aprobación del director del Trabajo de Integración Curricular	II
Declaración de autoría y cesión de derechos	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento.....	VI
Índice de Contenido.....	VII
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo uno	5
Marco teórico	5
1.1 Remolacha (Beta Vulgaris).....	5
1.2 Subproductos de remolacha.....	6
1.3 Secado por aspersion.....	7
1.3.1 <i>Agentes encapsulantes</i>	10
1.4 Compuestos fenólicos.....	10
1.5 Determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante.....	11
1.5.1 <i>Fenoles totales</i>	12
1.5.2 <i>DPPH</i>	13
1.5.3 <i>ABTS</i>	14
1.5.4 <i>FRAP</i>	15
Capítulo dos	17
Objetivos.....	17
2.1 Objetivo general	17

2.2	Objetivos específicos	17
Capítulo tres		18
Metodología.....		18
3.1	Reactivos	18
3.2	Determinación de fenoles totales y actividad antioxidante.....	18
3.2.1	<i>Fenoles totales</i>	19
3.2.2	<i>ABTS</i>	20
3.2.3	<i>DPPH</i>	21
3.2.4	<i>FRAP</i>	21
3.3	Análisis estadístico.....	22
Capítulo cuatro.....		23
Análisis de resultados y discusión		23
4.1	Determinación de Fenoles Totales	23
4.2	Capacidad antioxidante	25
4.2.1	<i>DPPH</i>	25
4.2.2	<i>ABTS</i>	27
4.2.3	<i>FRAP</i>	28
Conclusiones		30
Recomendaciones		31
Referencias.....		32

Índice de Tablas

Tabla 1	Aplicaciones de secado por aspersion	9
Tabla 2	Resultados obtenidos de fenoles totales en extractos y polvos atomizados de subproducto de remolacha	23

Tabla 3 Resultados obtenidos de la capacidad antioxidante DPPH.....	26
Tabla 4 Capacidad antioxidante ABTS.....	28

Índice de Figuras

Figura 1 Remolacha (Beta Vulgaris).....	5
Figura 2 Equipo de secado por aspersión.....	8
Figura 3 Clasificación de compuestos fenólicos.....	11
Figura 4 Reacción del reactivo Folin Ciocalteu	13
Figura 5 Reacción del método DPPH	14
Figura 6 Reacción del ensayo ABTS	15
Figura 7 Reacción del método FRAP	16
Figura 8 Metodología para la determinación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu	19
Figura 9 Metodología para la determinación de capacidad antioxidante por el método de ABTS	20
Figura 10 Metodología para la determinación de capacidad antioxidante por el método de DPPH.....	21
Figura 11 Metodología para la determinación de capacidad antioxidante por el método de FRAP	22

Resumen

En la presente investigación se estudiaron diferentes relaciones de agua – etanol para la obtención de los extractos y polvos atomizados obtenidos de la remolacha, tomando en cuenta las condiciones para atomización de 160 ° C con un flujo de bomba de alimentación de 10%, una vez obtenidos los extractos y polvos atomizados se determinó el contenido fenólico y capacidad antioxidante a través de las metodologías de fenoles totales, DPPH, ABTS y FRAP. En los resultados obtenidos se destaca que la cantidad de etanol que hay en el proceso de obtención de las muestras determinó el rendimiento de esta, es decir, para la obtención de los extractos el mayor rendimiento se deriva al utilizar, desde 50%, 40% y 30% de etanol ya que se obtiene desde $108,77 \pm 7,06$ mg EAG/100 g m.s hasta $125,07 \pm 23,41$ mg EAG/100 g m.s en la determinación fenoles totales, de igual forma sucedió en lo referente a la capacidad antioxidante. No obstante, los polvos atomizados tienen mayor rendimiento en la extracción de compuestos fenólicos al utilizar desde un 40%, 30% y 20% de etanol en la relación agua/etanol, ya que los mismos se encuentran en un rango de $512,09 \pm 6,27$ mg EAG/100 g m.s hasta $547,71 \pm 29,05$ mg EAG/100 g m.s en la determinación de fenoles totales. Con los resultados del presente trabajo se concluye que en los productos atomizados contienen mayor rendimiento en contenido fenólico y capacidad antioxidante que los extractos, por lo que podrían utilizarse como ingrediente en la industria de alimentos.

Palabras claves: Atomización, remolacha, Beta vulgaris, antioxidante, capacidad antioxidante.

Abstract

In the present investigation, different water-ethanol ratios were studied to obtain the extracts and atomized powders obtained from beet, considering the conditions for atomization of 160 ° C with a feed pump flow of 10%. Once the extracts and atomized powders were obtained, the phenolic content and antioxidant capacity were determined through the methodologies of total phenols, DPPH, ABTS and FRAP. The results obtained show that the amount of ethanol in the process of obtaining the samples determined the yield, i.e., for obtaining the extracts, the highest yield is derived from the use of 50%, 40% and 30% ethanol, since it is obtained from 108.77 ± 7.06 mg EAG/100 g m.s to 125.07 ± 23.41 mg EAG/100 g m.s in the determination of total phenols, as was the case for the antioxidant capacity. However, the atomized powders have higher performance in the extraction of phenolic compounds when using from 40%, 30% and 20% ethanol in the water/ethanol ratio, since they range from 512.09 ± 6.27 mg EAG/100 g m.s to 547.71 ± 29.05 mg EAG/100 g m.s in the determination of total phenols. With the results of the present work, it is concluded that the atomized products contain higher phenolic content and antioxidant capacity than the extracts, so they could be used as an ingredient in the food industry.

Keywords: Atomization, beet, beet, beta vulgaris, antioxidant, antioxidant capacity.

Introducción

En la actualidad, los problemas de salud relacionados con la dieta están causando un gran impacto entre los consumidores, lo que conlleva a una búsqueda incesante de alimentos cuyos ingredientes sean naturales, sanos y seguros [Fernández-López, Fernández-Ginés, Aleson-Carbonell, Sendra, Sayas-Barberá, & Pérez-Álvarez, \(2004\)](#). Generalmente los subproductos obtenidos durante el procesamiento de frutas y verduras resultan nutricionalmente atractivos no solo para la comunidad científica, sino también para el ámbito industrial, pues gracias a su composición química, se pueden obtener diversos metabolitos que son indispensables para la elaboración de productos que cumplan con las nuevas exigencias de la sociedad [\(Quirós Saucedo, Palafox, Robles Sánchez, & González Aguilar, 2012\)](#).

Indudablemente, un factor dietético de vital importancia para la promoción de la salud es, los antioxidantes, pues su ingesta está relacionada a efectos benéficos como prevención de enfermedades vinculadas con el envejecimiento celular, enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer [\(Obón et al., 2011\)](#). Ahora bien, dentro de las verduras con mayor aceptación en los mercados nacionales e internacionales está la remolacha (*Beta vulgaris*). No obstante, la industrialización de este tubérculo comestible genera grandes cantidades de piel que, aunque contiene cantidades significativas de compuestos bioactivos como compuestos fenólicos, pigmentos, etc., no son debidamente aprovechadas y se desechan como residuos, representando una fuente de contaminación ambiental [\(El-Betalgi et al. 2022; Abdo et al. 2020; Lazăr et al. 2022\)](#).

Por lo antes mencionado, se propone la presente investigación cuyo objetivo fue revalorizar y evaluar el potencial antioxidante de los subproductos derivados del procesamiento de la remolacha y su aplicación como un novedoso ingrediente en la industria alimentaria. Adicionalmente, se buscó optimizar el proceso de atomización y, así evaluar su efecto en los compuestos fenólicos y su actividad antioxidante.

El presente estudio está dividido en tres capítulos, en el **Capítulo 1** se realiza una búsqueda bibliográfica de los conceptos indispensables para la adecuada realización de esta

investigación. En el **Capítulo 2** se describe meticulosamente la metodología empleada para alcanzar cada uno los objetivos planteados, mientras que, en el **Capítulo 3** se presenta los resultados obtenidos durante la experimentación y se los contrasta con información bibliográfica. Finalmente, en el apartado de **Conclusiones y Recomendaciones**, se sintetiza los resultados obtenidos y se realizan algunas sugerencias para futuras investigación.

Capítulo uno

Marco teórico

1.1 Remolacha (*Beta Vulgaris*)

Figura 1

Remolacha (Beta Vulgaris)



Nota. Adaptado de Reus, (2019).

Consumida por más de cientos de años, este tubérculo perteneciente a la familia *Chenopodiaceae*, es originaria de la región mediterránea y cultivada a nivel mundial, incluyendo países de Europa, África y América (Ceclu & Nistor, 2020).

Con respecto a sus características físicas, la remolacha presenta una gran diversidad de colores (rosáceo, violáceo, anaranjado) y formas (esférica, ovalada) de acuerdo con su variedad. Adicionalmente, esta raíz posee un diámetro de 5 a 10 cm y por lo general, suele pesar entre 80 a 200 gramos (Ninfali & Angelino, 2013).

Dado sus increíbles características sensoriales, la remolacha de jardín, se ha posesionado como la variedad con mayor aceptación a nivel mundial, formado parte de múltiples preparaciones gastronómicas incluyendo ensaladas, jugos, etc. Por otro lado, la remolacha azucarera es de gran importancia industrial, pues de esta se derivan diversos

productos como el azúcar (Casierra-Posada & Pinto-Correa, 2011). Ahora bien, en territorio ecuatoriano, la provincia de Carchi lidera la producción del betabel, seguido por Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, Cañar y Loja (Silva Arcos & Toapanta Oña, 2011).

1.2 Subproductos de remolacha

Hoy en día, la concienciación ambiental y el desarrollo de tecnologías verdes han retado a las industrias alimenticias a revalorizar el material secundario que se genera tras el procesamiento de alimenticios dado su fuerte potencial contaminante (Campos et al., 2020; M. A. C. de Albuquerque et al., 2019). La industrialización de la remolacha produce grandes cantidades de subproductos, siendo la piel y el tallo (Sawicki et al., 2016), las fracciones que más cautivan a los investigadores. Existen indicios que demuestran su capacidad antioxidante (El-Beltagi et al., 2022), antimicrobiano y antiviral (Takács-Hájos & Vargas-Rubóczy, 2022).

En el estudio realizado por Sheila et al., (2017) utilizaron los ensayos DPPH, FRAP y reducción de fosfomolibdeno para la evaluar la capacidad antioxidante de la piel de remolacha. Al finalizar el estudio, concluyeron que los extractos utilizados poseen compuestos nutraceuticos que posibilitan la eliminación de los radicales libres. Adicionalmente, se corroboró la capacidad inhibitoria de crecimiento microbiano.

Así mismo, Lazăr et al., (2021) emplearon un diseño central compuesto para optimizar la extracción de betalaínas y compuestos fenólicos en extractos de cáscara de remolacha, evaluando la concentración de ácido cítrico, concentración de etanol, temperatura y tiempo de extracción. Bajo las condiciones óptimas (concentración de ácido cítrico: 1,5 %, concentración de etanol: 50 %, temperatura: 52,52 °C y tiempo de extracción: 49,9 min), la concentración de betalaínas fue de 1,20 mg/g de muestra en base seca, mientras que, se obtuvo un contenido fenólico igual a 2,39 mg GAE/g de muestra en base seca.

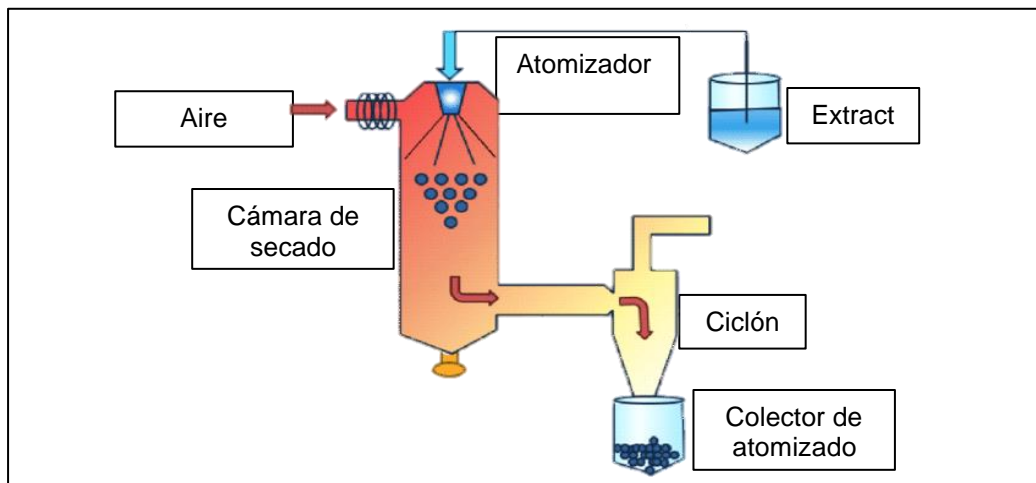
Slatnar et al., (2015) utilizaron la técnica de HPLC-MSⁿ para determinar las betalaínas presentes en las hojas, pulpa y piel de remolacha, hallando un total 15 betacianinas y 7

betaxantinas. Este hallazgo permite considerar a este vegetal como una fuente excelente de colorantes naturales con gran aplicación en la industria alimentaria y farmacéutica.

1.3 Secado por aspersión

Los diferentes estudios realizados para evaluar el comportamiento de los alimentos durante su almacenamiento exponen que un factor de impacto significativo en la vida útil de un producto es sin duda, su contenido de agua. Este nutriente es promotor de diversos cambios bioquímicos y microbiológicos que afectan la estabilidad de los alimentos acortando su vida de anaquel (Babu et al., 2018). Desde tiempos prehistóricos hemos contado con técnicas de secado que han posibilitado la disminución del porcentaje de humedad a niveles mínimos para retardar las reacciones de degradación (Chua et al., 2019). Una de las operaciones de deshidratación más aplicadas en la industria alimenticia es el secado por aire caliente, sin embargo, las altas temperaturas y tiempos prolongadas que implican su uso ocasionan la pérdida inevitable de cualidades organolépticas y propiedades nutricionales (Gowen et al., 2008).

Por otro lado, el desarrollo tecnológico ha permitido la introducción del secado por aspersión como una técnica prometedora para la obtención de polvos alimenticios y farmacéuticos dada su flexibilidad y su enfoque escalable (Fazaeli et al., 2012). De acuerdo con Ziaee et al., (2019), esta técnica continua permite transformar una muestra líquida en un producto seco mediante su atomización en un medio gaseoso, es decir, las soluciones son rociadas en forma de finas gotas en una cámara, en donde, por acción del aire caliente, el agua se evapora rápidamente quedando únicamente, las partículas secas (Figura 2).

Figura 2*Equipo de secado por aspersión*

Nota. Adaptado de (Kim et al., 2019).

Los diversos alimentos que se han deshidratado mediante atomización incluyen productos derivados de frutas y verduras, ovoproductos, lácteos, además de la microencapsulación de pigmentos, aromas, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos (Lee et al., 2013). Algunos de estas aplicaciones se exponen en la tabla 1

Ahora bien, las condiciones utilizadas durante el proceso de secado por aspersión afectarán la calidad final del producto atomizado. Según Shishir & Chen, (2017) los parámetros a considerar son: concentración de alimentación, la temperatura del aire de entrada y salida, el caudal de alimentación, el caudal de aire de secador y tipo de atomizador.

Tabla 1

Aplicaciones de secado por aspersión

Materia Prima	Condiciones estudiadas	Resultados	Referencias
Guayaba (<i>Psidium guajava</i>)	Temperatura del aire de calentamiento: 170-185°C Concentración de Maltodextrina: 7-12%	Las condiciones óptimas determinadas fueron: 7% de maltodextrina y una temperatura del aire caliente de 185°C.	(Patil et al., 2014)
Cereza (<i>Prunus cerasus</i>)	Temperatura del aire de calentamiento 100–140°C Concentración de Maltodextrina: 30-60% Tasa de aspiración: 30-50%	Las condiciones óptimas de secado fueron: 60°C, 60% de maltodextrina y finalmente, una alimentación de 30%. Las condiciones que permitieron optimizar el proceso de secado fueron una temperatura de entrada de 171°C, un caudal de alimentación de 30 mL/min y una velocidad del ventilador de 2400 rpm.	(Moghaddam et al., 2017)
Granada (<i>Punica granatum</i>)	Temperatura del aire de entrada: 170–190°C Caudal de alimentación 18–30 mL/min Velocidad del ventilador variaron: 2000–2400 rpm	Las condiciones generales óptimas de secado por aspersión fueron una temperatura del aire de entrada de 125°C, 3 % de goma arábica y 13,4 % de maltodextrina	(Muzaffar et al., 2016)
Naranja (<i>Solanum quitoense</i> L.)	Temperatura del aire de entrada (120–180 °C) La concentración de goma arábica: 0–10 % Concentración de maltodextrina: 0–10 %		(Iguar et al., 2014)

Nota. Adaptado de Iguar et al., (2014); Moghaddam et al., (2017); Muzaffar et al., (2016); Patil et al., (2014).

1.3.1 Agentes encapsulantes

La alta pegajosidad, solubilidad e higroscopicidad de los polvos obtenidos tras la atomización provocan que este producto se adhiera fácilmente a las paredes de la cámara de secado disminuyendo su rendimiento. El uso de agentes encapsulantes ha demostrado ser una solución eficaz para evitar este tipo de inconvenientes (Cano-Chauca et al., 2005; Sakulnarmrat & Konczak, 2022).

De acuerdo con Coronel-Aguilera & San Martín-González, (2015), los encapsulantes con una mayor aplicación en la industria alimenticia incluyen: polisacáridos como los almidones y sus derivados. Así como proteínas lácteas, proteínas derivadas de la soja, gelatinas y finalmente gomas naturales. Ahora bien, la adecuada selección del agente encapsulante garantiza una mayor estabilidad del producto atomizado durante largos periodos de tiempo. Los factores que consideran son:

- Tener baja viscosidad a altas concentraciones.
- Buena capacidad emulsionante.
- Buena capacidad protectora ante las condiciones ambientales.
- Baja reactividad química con la muestra que será sometida al proceso de secado Poot aspersión (Shishir & Chen, 2017b).

1.4 Compuestos fenólicos

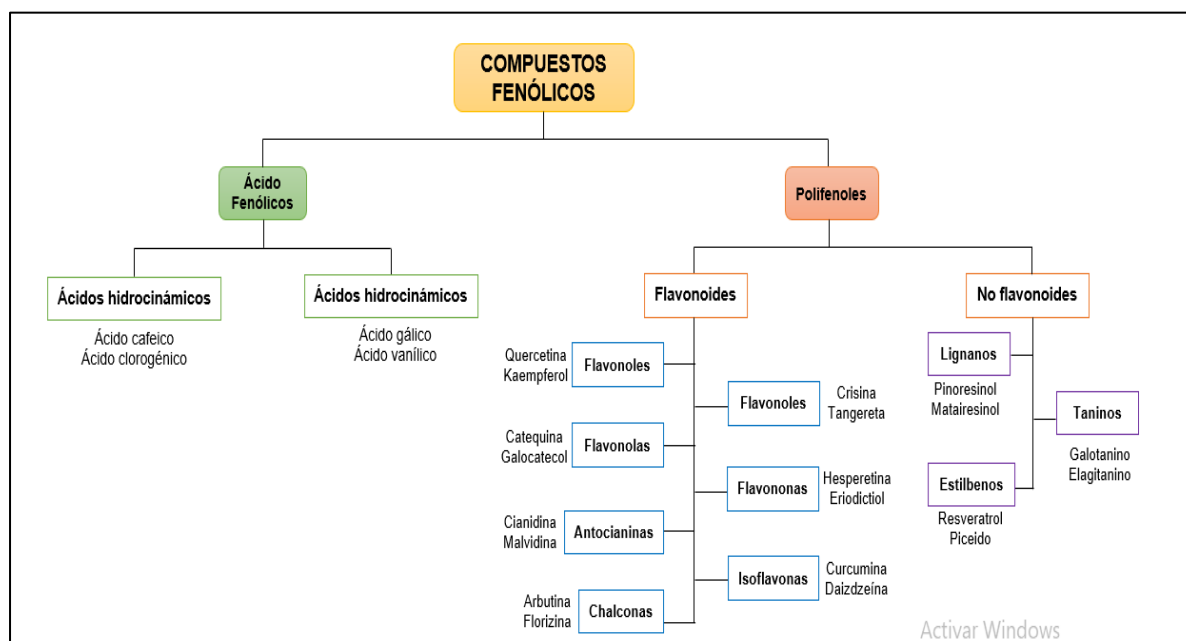
En el vasto reino vegetal, las múltiples vías metabólicas generan una infinidad de compuestos de gran importancia fitoquímica. Generalmente, los compuestos fenólicos destacan dentro de este gran y tan valioso grupo de sustancias naturales dado su excelente poder antioxidante (Haminiuk et al., 2012a). Hoy en día los investigadores, mediante los diversos estudios realizados en matrices vegetales, exteriorizan el rol trascendental de estos metabolitos secundarios en la prevención de padecimientos cardiovasculares y neurodegenerativas, así como, en ciertos tipos de cáncer, diabetes y osteoporosis, exhortando a la sociedad a optar por una dieta rica en productos vegetales como frutas, verduras, cereales y legumbres (Alara et al., 2021; B. R. Albuquerque et al., 2021).

Estructuralmente, los compuestos fenólicos constan de al menos un anillo aromático ligado a uno o más grupos hidroxilo (Khoddami et al., 2013a). Según Balasundram et al., (2006) esta característica estructural permite categorizar a estos compuestos como fenoles simples y compuestos altamente polarizados (**Figura 3**). Gracias a la fuerte atracción que los polifenoles ejercen en la comunidad científica, se ha logrado identificar alrededor de 8000 compuestos distribuidos a lo largo de cada uno de nuestros ecosistemas, incluyendo ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos y lígnanos (Alara et al., 2021b; Haminiuk et al., 2012b).

Por otro lado, su naturaleza química les confiere la habilidad de actuar como secuestradores de radicales libres, reductores y donadores de átomos de hidrógeno o electrones. Por esta razón, su presencia se ve asociada al efecto antioxidante ampliamente estudiada (Khoddami et al., 2013b).

Figura 3

Clasificación de compuestos fenólicos



Nota. Adaptado de Vardhan & Shukla, (2017).

1.5 Determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante

Actualmente, las técnicas analíticas disponibles para la determinación de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante son el resultado de numerosos ensayos que han ido

perfeccionándose a través del tiempo. Dada la complejidad estructural de estos metabolitos, así como, sus múltiples mecanismos de acción, es poco probable obtener resultados precisos que evidencien todas las fuentes de antioxidantes presentes en los alimentos, si en la investigación se utiliza un único método (Alara et al., 2021b; Khoddami et al., 2013b). Por este motivo, es indispensable recurrir a un conjunto de procedimientos que permitan evaluar la capacidad de los antioxidantes conocidos y desconocidos y sus posibles interacciones (Prior et al., 2005; Spreng & Hofmann, 2018).

Por lo general, los radicales libres son inhabilitados por la acción antioxidante a través de dos grandes vías de reacción. El primer mecanismo recibe el nombre de reacción de transferencia de un electrón (SET) aludiendo a la capacidad reductora que tienen estos compuestos. Mientras que, su capacidad de ceder átomos de hidrógeno se cuantifica mediante la reacción de transferencia de un átomo de hidrógeno (HAT) (Muñoz-Bernal et al., 2017a).

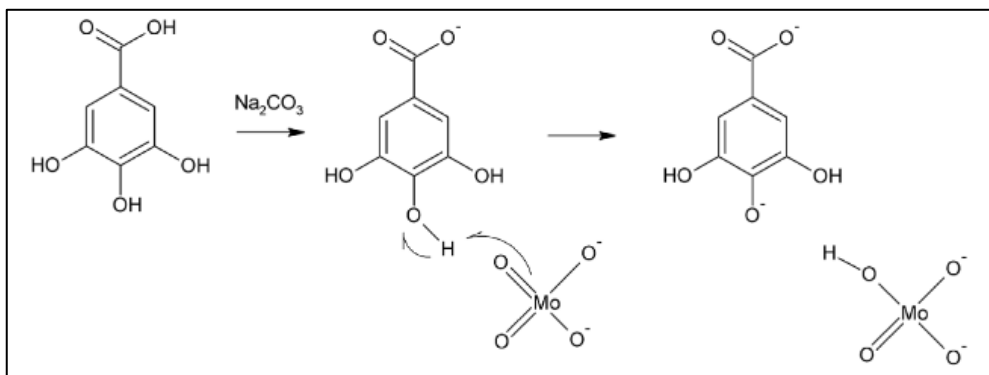
Según Thaipong et al., (2006) los métodos espectrofotométricos más empleados para la determinación de la actividad antioxidante son: DPPH, ABTS, FRAP junto con fenoles totales.

1.5.1 Fenoles totales

El ensayo de Folin-Ciocalteu (FC) ha sido considerada como la técnica más utilizada en las últimas décadas para conocer la concentración de compuestos fenólicos presentes en fuentes naturales debido a sus sensibilidad, sencillez y precisión (Muñoz-Bernal et al., 2017b). De acuerdo con Karadag et al., (2009), este método se fundamenta en la transferencia de electrones en medio alcalino de los fenoles y otras especies reductores al molibdeno, provocando la formación de complejos azules que pueden ser monitoreados a 750-765 nm. Adicionalmente, según Restrepo-Sánchez et al., (2009) existen indicios que revelan una alta correlación entre el método FRAP y el método FC. La reacción del reactivo Folin-Ciocalteu se representa en la **Figura 4**.

Figura 4

Reacción del reactivo Folin Ciocalteu



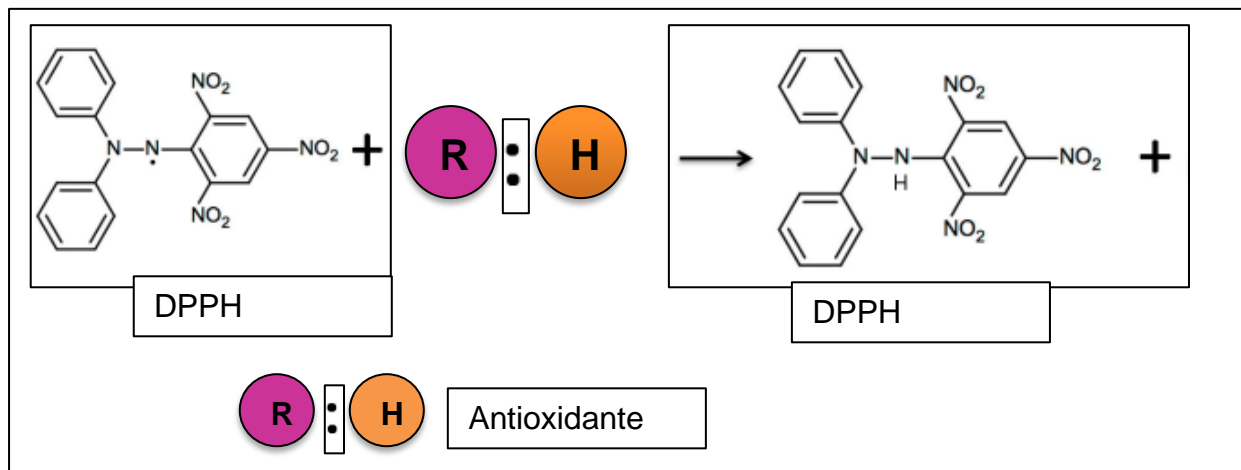
Nota. Adaptado de (Muñoz-Bernal et al., 2017)

1.5.2 DPPH

Método popular propuesto por Brand-Williams et al. (1995) para la determinación de antioxidantes naturales. Este ensayo SET permite la medición de la capacidad de los compuestos fenólicos para capturar el radical libre 2,2-difenil-1-picrihidracil (DPPH). Una longitud de onda de 515 nm es necesaria para evaluar la decoloración de este radical cromógeno, comúnmente de color púrpura a un color amarillo pálido (Arteaga et al., 2012). La reacción producida se muestra en la Figura 5. De acuerdo con Liang & Kitts, (2014), esta metodología se caracteriza por ser un experimento altamente reproducible, selectivo y comparable. Cabe mencionar que, gracias a los grandes avances en las técnicas analíticas, este ensayo puede combinarse con HPLC, con la finalidad de detectar rápidamente una gran cantidad de muestras de antioxidantes (Khoddami et al., 2013b).

Figura 5

Reacción del método DPPH



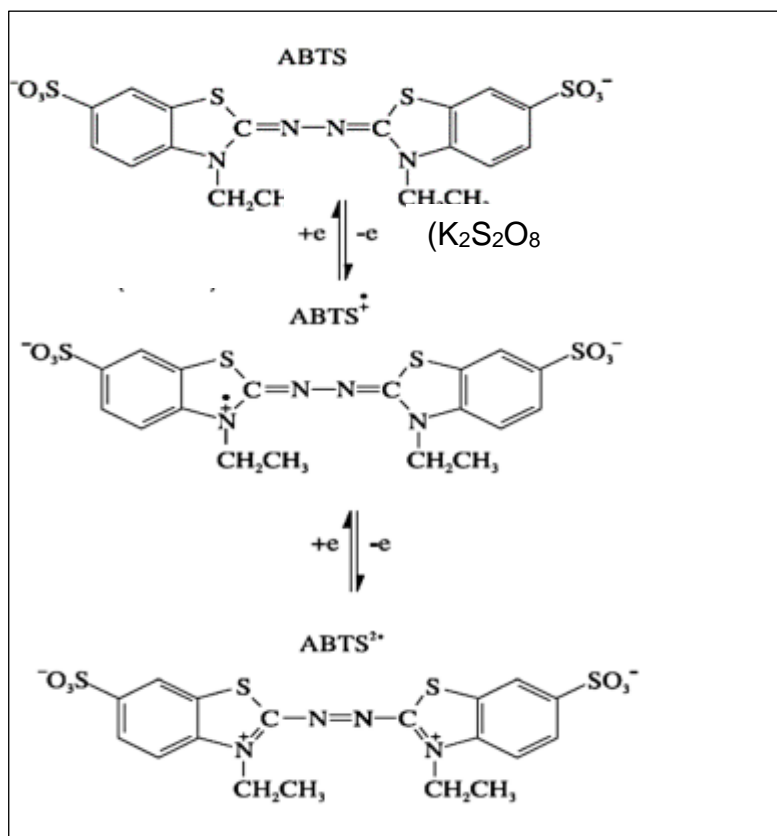
Nota. Adaptado de Liang & Kitts, (2014).

1.5.3 ABTS

Esta técnica SET mide la neutralización del radical ABTS (2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico) por la acción de los compuestos fenólicos presentes (Konan et al., 2016a). Según Roginsky & Lissi, (2005) la disminución del color azul/verdoso característico de este radical se puede cuantificar fácilmente a 734 nm (**Figura 6**). Además, este ensayo se caracteriza por su gran versatilidad, pues es muy útil en un amplio rango de pH y permite la determinación de la actividad antioxidante de compuestos hidrofílicos y lipofílicos. Por otro lado, este método también se lo denomina como TEAC (Total Equivalent Antioxidant Capacity) si el estándar empleado es el TROLOX (Álvarez-Gómez et al., 2016; Mesa-Vanegas et al., 2015).

Figura 6

Reacción del ensayo ABTS



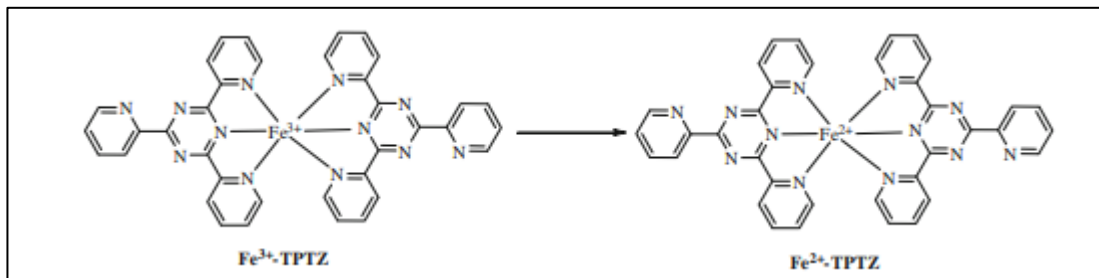
Nota. Adaptado de Konan et al., (2016).

1.5.4 FRAP

Método desarrollado por Benzie y Strain para determinar el poder reductor del plasma, sin embargo, en la actualidad existen modificaciones aplicables a productos botánicos. El ensayo FRAP se basa en la habilidad que tienen los compuestos fenólicos de reducir, en medios ácidos, el complejo férrico Fe³⁺ a su forma ferrosa Fe²⁺ (**Figura 7**) (Gülçin, 2012). Cuando esto ocurre, se evidencia la formación de un complejo azulado medible a 593 nm. Dada su sencillez, rapidez, sensibilidad y reproducibilidad es ampliamente utilizado por la comunidad científica (Sucupira et al., 2014).

Figura 7

Reacción del método FRAP



Nota. Adaptado de Gülçin, (2012).

Capítulo dos

Objetivos

2.1 Objetivo general

Determinar el potencial de subproductos de remolacha como ingrediente para la industria de alimentos, y así contribuir en el desarrollo de posibles nuevos productos saludables.

2.2 Objetivos específicos

- Optimizar el proceso de atomización en función del contenido de fenoles totales.
- Determinar el contenido de fenoles totales, capacidad antioxidante, flavonoides y antocianinas totales.

Capítulo tres

Metodología

La determinación de fenoles totales, ABTS, DPPH y FRAP se obtuvo de las muestras del subproducto de remolacha a diferentes concentraciones de solventes, mismas que se muestran en la tabla 1, así mismo, para la obtención de los polvos se utilizó Polivinilpirridona (PVP) como agente encapsulante y las condiciones aplicadas en el proceso de atomización fueron de 160 °C con un flujo de bomba del 10%, estas condiciones fueron aplicadas para los seis extractos obtenidos.

Tabla 1

Concentraciones utilizadas para la obtención de los extractos

Experimento	Concentración de solvente
1	50% Agua - 50% Etanol
2	60% Agua - 40% Etanol
3	70% Agua - 30% Agua
4	80% Agua - 20% Etanol
5	90% Agua - 10% Etanol
6	100% Agua - 0% Etanol

Una vez obtenidos los extractos, se realizó el análisis para la determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante por los diferentes métodos descritos anteriormente.

3.1 Reactivos

Para la extracción y determinación del contenido fenólico y capacidad antioxidante se utilizó ácido 6-hidroxi-(2, 5, 7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico) (TROLOX), ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzothiazolin-6-sulfónico) (ABTS), 2,4,6-tri (2-piridil)-s-triazina (TPTZ) proveniente de Sigma-Aldrich (Steinheim, Alemania). Mientras que, el reactivo Folin Ciocalteu, ácido gálico, carbonato de sodio y metanol fueron suministrado por Merck KgaA.

3.2 Determinación de fenoles totales y actividad antioxidante

Con la finalidad de evaluar la acción antioxidante y la sinergia existente entre los compuestos fenólicos presentes en las muestras, se empleó tres diferentes métodos: DPPH, ABTS y FRAP. Simultáneamente, se realizó el análisis de fenoles totales para cuantificar de una manera global la presencia de estos compuestos.

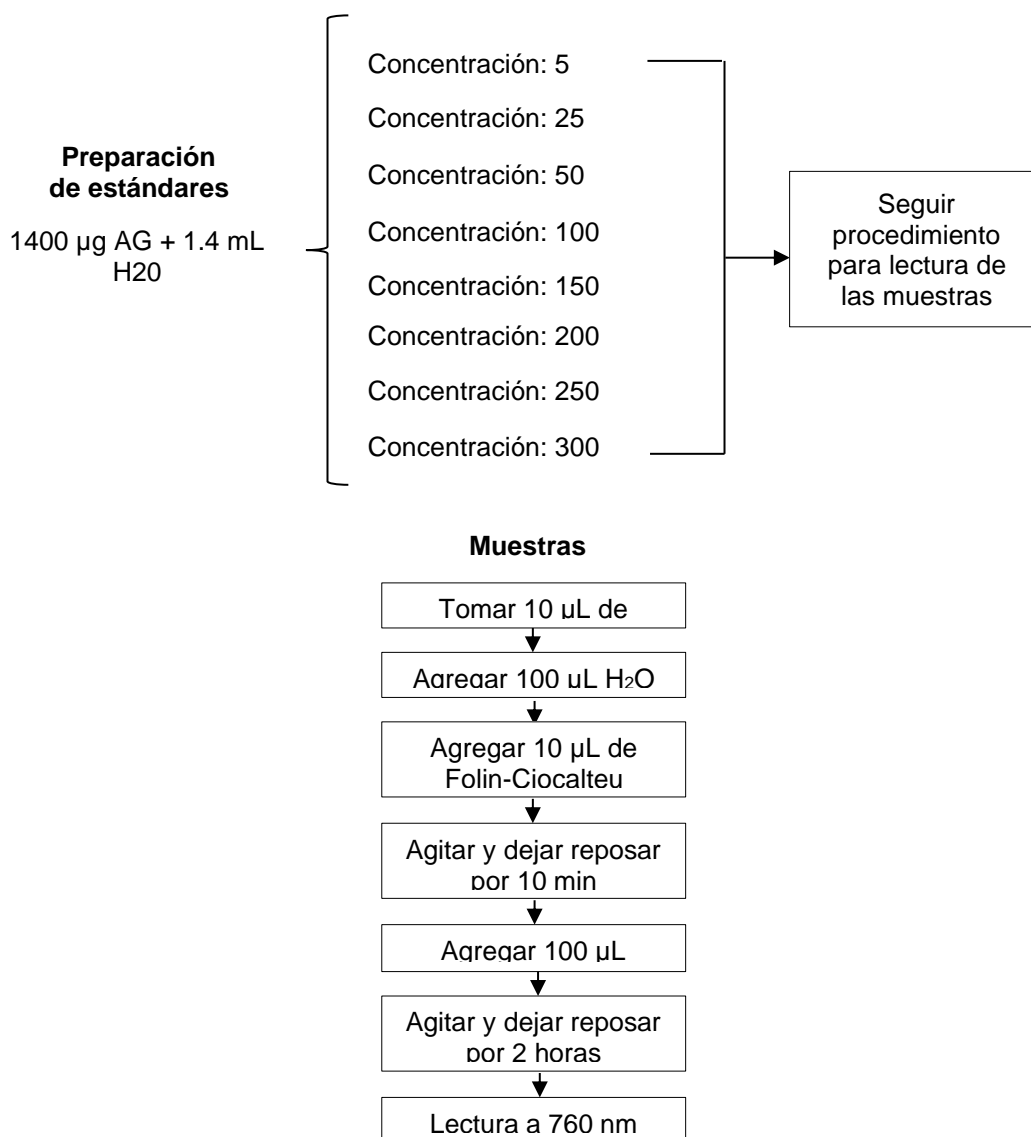
3.2.1 Fenoles totales

El método colorimétrico de Folin-Ciocalteu adaptado por Swain & Hillis, (1959) y ajustado por Thaipong et al., (2006) se utilizó para determinar el contenido de fenoles totales. Los resultados obtenidos se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por cada 100 gramos de muestra (mg EAG/ 100g). La **Figura 9** detalla la metodología aplicada.

Figura 8

Metodología para la determinación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu

a. Preparación de los estándares **b.** Proceso para leer las muestras



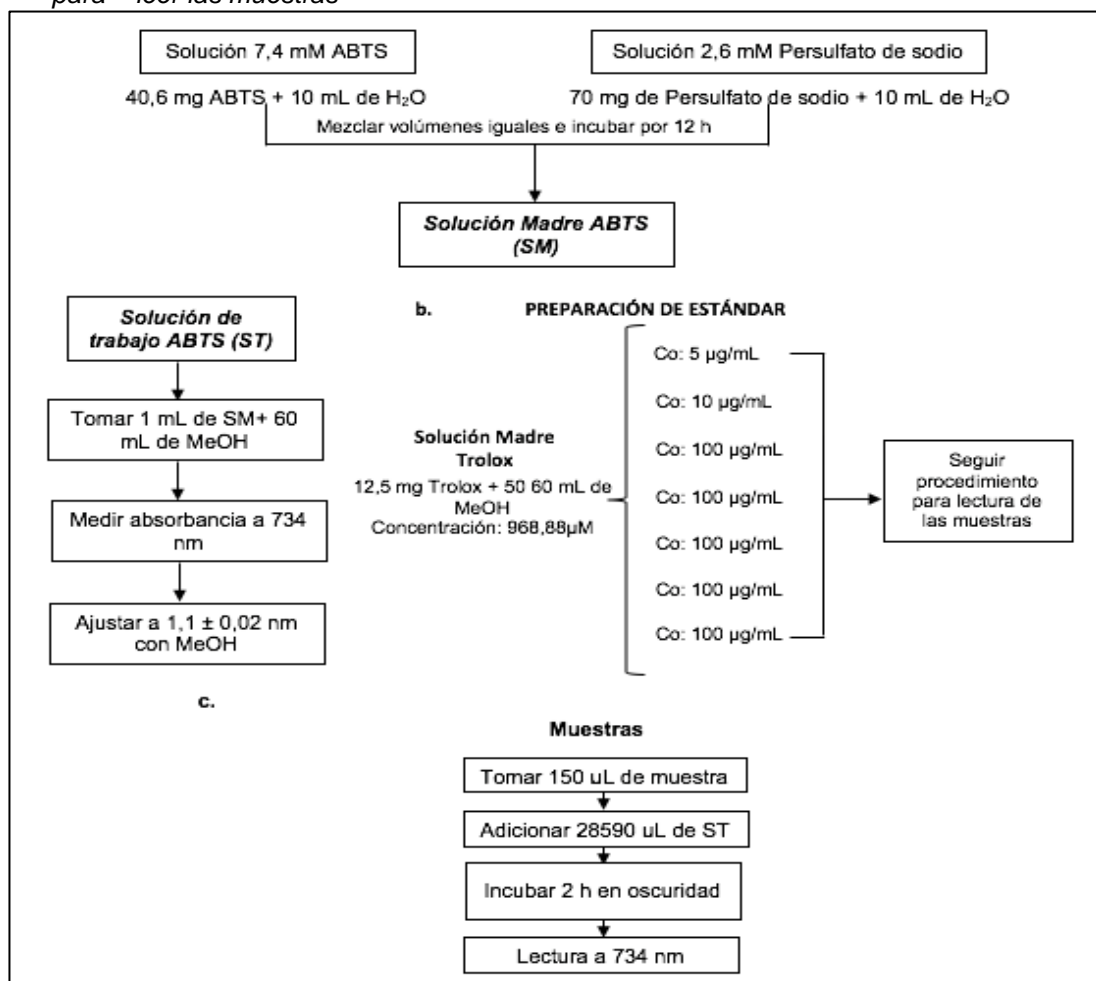
3.2.2 ABTS

El ensayo descrito por Cano & Arnao, (2004) con modificaciones realizadas por Thaipong et al., (2006) se realizó para establecer la capacidad de los fenoles para capturar el radical ABTS. El reactivo Trolox fue imprescindible para construir la curva de calibración y la reducción colorimétrica fue monitoreada a 743 nm mediante un espectrofotómetro de UV. Los resultados se expresaron como micro moles equivalentes de Trolox por gramo de muestra ($\mu\text{mol ET/g}$ de muestra). En la **Figura 10** se detalla el procedimiento aplicado.

Figura 9

Metodología para la determinación de capacidad antioxidante por el método de ABTS

a. Preparación de la solución de trabajo b. Preparación de soluciones estándar c. Proceso para leer las muestras



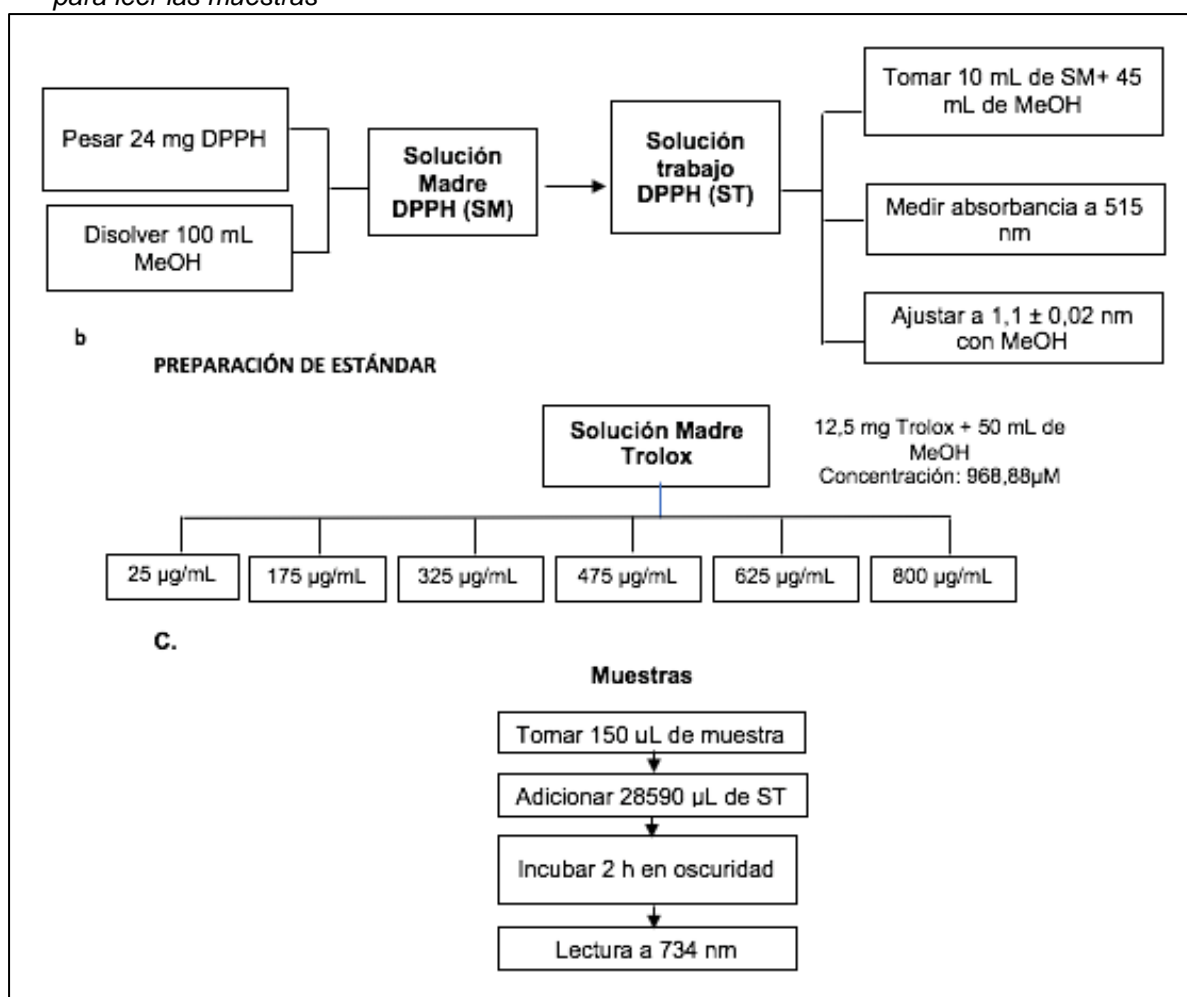
3.2.3 DPPH

La técnica de decoloración ocasionado por el secuestro del radical DPPH planteado por Brand-Williams et al., (1995) y ajustado por Thaipong et al., (2006) se procedió a realizar. La curva de calibración se construyó empleando el reactivo Trolox como estándar y los resultados se expresaron como micro moles equivalentes de Trolox por gramo de muestra ($\mu\text{mol ET/g}$ de muestra). En la **Figura 11** se detalla el procedimiento aplicado.

Figura 10

Metodología para la determinación de capacidad antioxidante por el método de DPPH

a. Preparación de la solución de trabajo b. Preparación de soluciones estándar c. Proceso para leer las muestras



3.2.4 FRAP

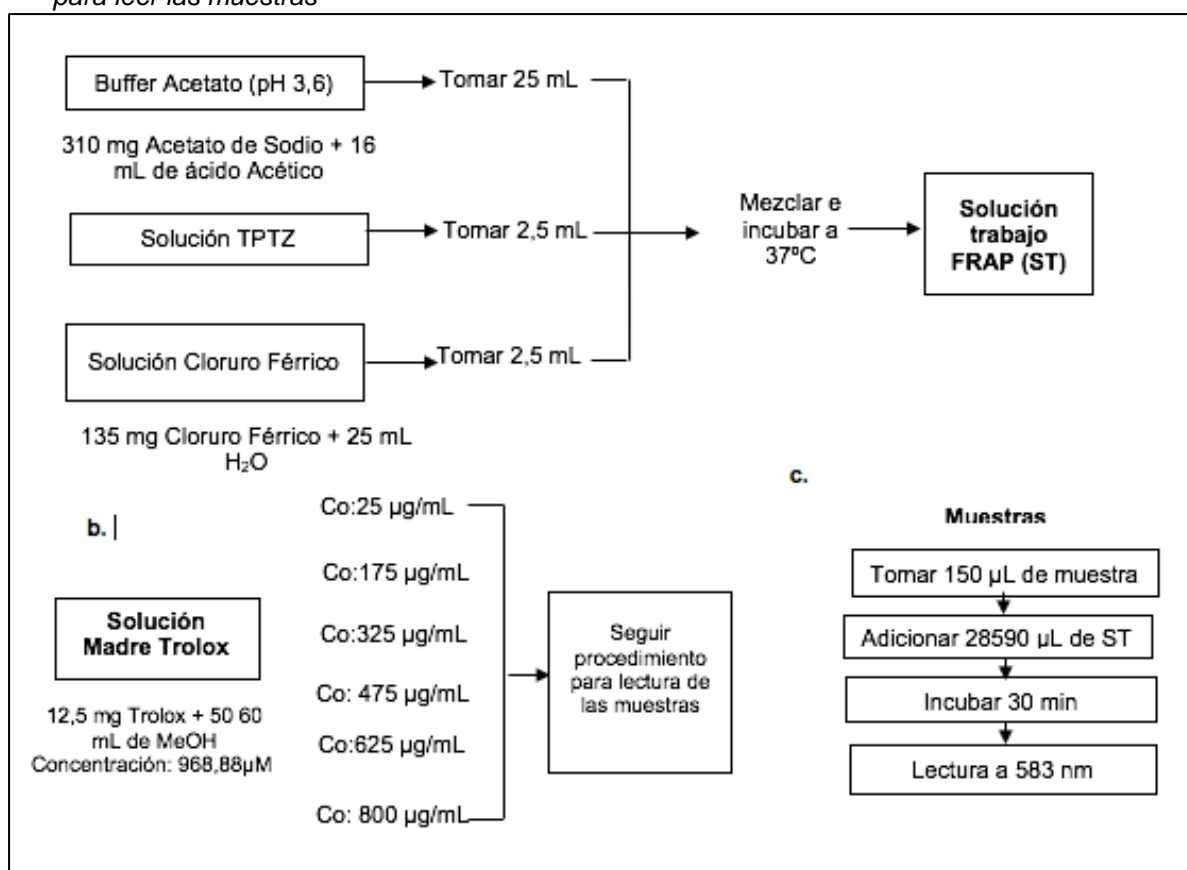
La técnica propuesta por Benzie & Strain, (1996) y modificada por Thaipong et al., (2006) se empleó para determinar la actividad antioxidante por medio del mecanismo de

reducción de metales. El estándar Trolox se utilizó para la construcción de la curva de calibración, mientras que, los resultados se expresaron como micro moles equivalentes de Trolox por gramo de muestra. El método aplicado se detalla en la **Figura 11** ($\mu\text{mol ET/g}$ de muestra).

Figura 11

Metodología para la determinación de capacidad antioxidante por el método de FRAP

a. Preparación de la solución de trabajo b. Preparación de soluciones estándar c. Proceso para leer las muestras



3.3 Análisis estadístico

Todos los análisis se realizaron por triplicado y los resultados obtenidos se expresaron como la media \pm desviación estándar. Los valores recolectados fueron procesados estadísticamente en el programa Excel, mediante un análisis de varianza ANOVA y un test de rango múltiple Tukey, con un nivel de confianza del 95%.

Capítulo cuatro

Análisis de resultados y discusión

4.1 Determinación de Fenoles Totales

Las verduras son consideradas como un producto rico en antioxidantes debido a la alta cantidad de vitamina C y flavonoides que en estas se encuentran. Según Cazorla García, (2018) en su trabajo denominado determinación de polifenoles totales y actividad antioxidante en la cáscara de remolacha obtuvo un valor de polifenoles totales de 136 mg EAG/100 g, valor similar al de la pulpa, mismo que es de 142,34 mg EAG/100 g, así mismo, Morillas-Ruiz & Delgado-Alarcón, (2012) describe obtener un valor de $1423,45 \pm 0.02 \mu\text{GA/g}$ en un extracto metanólico de la muestra fresca de remolacha.

Tabla 2

Resultados obtenidos de fenoles totales en extractos y polvos atomizados de subproducto de remolacha

Experimentos	Muestras	
	Extracto (mg EAG/100 g m.s)	Polvo Atomizado (mg EAG/100 g atomizado)
50% Agua - 50% Etanol	108,77 \pm 7,06 ^A	547,71 \pm 29,05 ^A
60% Agua - 40% Etanol	104,65 \pm 14,52 ^A	512,09 \pm 6,27 ^B
70% Agua - 30% Etanol	125,07 \pm 23,41 ^A	486,16 \pm 5,23 ^C
80% Agua - 20% Etanol	122,91 \pm 0,94 ^A	453,52 \pm 12,81 ^C
90% Agua - 10% Etanol	81,88 \pm 3,20 ^B	514,75 \pm 81,18 ^B
100% Agua - 0% Etanol	78,44 \pm 5,89 ^B	325,64 \pm 10,79 ^D

Nota: Los valores corresponden a la media desviación estándar (\pm) de tres repeticiones. Las letras mayúsculas diferentes colocadas como superíndices en cada columna representa diferencia significativa ($p < 0.05$) para cada concentración en extracto y polvo atomizado.

En la tabla 2 se observa los valores obtenidos en la determinación de fenoles totales en los extractos y polvos atomizados con las diferentes concentraciones trabajadas, de los cuales, analizando el extracto se observa que no hay diferencia significativa entre las concentraciones de 100% Agua – 0% Etanol y 90% Agua – 10% Etanol, no obstante, la diferencia significativa radica en las concentraciones antes mencionadas tienen diferencia significativa con el resto de concentraciones utilizadas para este trabajo, mismas que son de

50% agua – 50% etanol, 60% agua – 40% etanol, 70% agua - 30% etanol y 80% agua – 20% etanol.

Adicional a esto, acorde con los resultados en el extracto la mayor extracción se obtiene con la relación de 70% Agua – 30% Etanol, con un valor de $125,07 \pm 23,41$ mg EAG/100 g en comparación con la relación de 100% Agua que presentó un valor de fenoles totales de $78,44 \pm 5,89$ mg EAG/100 g.

Cazorla García, (2018) determina fenoles totales de un extracto de remolacha, macerando en metanol, reportado el valor de 142,34 mg EAG/100 g, comparando con los resultados del presente trabajo, se observa que hay mayor extracción de los compuestos fenólicos al utilizar metanol, ya que informa de un valor de 125,07 mg EAG/100 g, sin embargo, se observa que la variación en la relación de los solventes agua - etanol determina el rendimiento de los compuestos fenólicos extraídos, sin embargo, la variación en la relación 70% – 30%, 80% – 20%, 60% - 40% y 50% - 50% relación agua – etanol, no tienen diferencia significativa entre sí, por lo cual, se puede variar la relación de los solventes entre 70/30 y 80/20 agua/ etanol.

Referente al polvo atomizado hay diferencia significativa con la concentración utilizando 100% agua con un valor de $325,64 \pm 10,79$ mg EAG/100 g, siendo el más bajo con relación al resto de concentraciones utilizadas para obtener un rendimiento óptimo en el proceso.

Se destaca, además que la concentración 50% agua – 50% etanol tiene mejor rendimiento en la obtención de fenoles totales de los polvos atomizados, ya que es el valor más alto en relación con el resto de las concentraciones realizadas, mismo que resulta en un valor de $547,71 \pm 29,05$ mg EAG/100 g. A diferencia de los extractos líquidos, el polvo atomizado tiene mayor cantidad de compuestos fenólicos, esto se debe a que es un método de conservación de los compuestos de interés, el autor Castromonte et al., (2020) describe que los extractos líquidos tienden a perder el compuesto activo a lo largo del tiempo.

Investigando referente a antioxidantes se encontró varios estudios en donde caracterizan a las verduras como una fuente rica en antioxidantes, tal es el caso Zapata et

al., (2014) que realizó el estudio de fenoles totales en muestras liofilizadas, entre las cuales analizó la remolacha, el valor que obtiene de cuantificación de fenoles totales es de $307,6 \pm 5,5$ mg EAG/100 g, valor que está cercano a los resultados de fenoles totales de los polvos atomizados utilizando la relación 100% agua, no obstante la relación 50% agua – 50% etanol obtiene un valor mayor de contenido de fenoles totales, lo que resulta como un método de extracción óptimo en la cuantificación de fenoles, debido a que con ayuda del encapsulante y la disminución del agua en los extractos, se conserva sin problema el principio activo de los polvos.

Para relacionar el contenido fenólico de la remolacha se compara con las diferentes verduras, como es el caso de la zanahoria que debido a la presencia de carotenos presenta el color naranja característico, los carotenos son compuestos antioxidantes que se transforman en betacarotenos, por lo cual el estudio realizado por Zapata et al., (2014) utiliza un extracto liofilizado para la determinación de los compuestos fenólicos de la misma, resultando $160 \pm 5,6$ mg EAG/100 g, valor que en comparación con los calculados se asemeja al contenido fenólico de los extractos con la relación 60% agua – 40% etanol con un valor de $104,65 \pm 14,52$ mg EAG/100 g. En comparación con el contenido fenólico del ajo que tiene un valor bajo en relación con la remolacha y zanahoria, ya que es fuente principal de minerales y vitaminas, entre ellas está la Vitamina B₆, al cuantificar los fenoles del ajo Zapata et al., (2014) obtuvo un valor de $44,8 \pm 3,3$ mg EAG/100 g.

4.2 Capacidad antioxidante

4.2.1 DPPH

Mediante el análisis de decoloración por secuestro del radical DPPH por parte de los compuestos antioxidantes, en la tabla 3 se observan los resultados de las concentraciones obtenidas para el extracto y polvo atomizado.

Tabla 2*Resultados obtenidos de la capacidad antioxidante DPPH*

Experimentos	Muestras	
	Extracto ($\mu\text{M Trolox}/100 \text{ g.m.s}$)	Polvo Atomizado ($\mu\text{M Trolox}/100\text{g de atomizado}$)
50% Agua - 50% Etanol	431,22 \pm 8,12 ^A	2,51 \pm 0,08 ^A
60% Agua - 40% Etanol	445,09 \pm 3,53 ^A	2,93 \pm 0,06 ^B
70% Agua - 30% Etanol	384,60 \pm 28,05 ^D	2,79 \pm 0,22 ^C
80% Agua - 20% Etanol	328,35 \pm 8,67 ^B	2,82 \pm 0,08 ^B
90% Agua - 10% Etanol	334,90 \pm 8,33 ^B	2,70 \pm 0,21 ^C
100% Agua - 0% Etanol	233,58 \pm 4,67 ^C	0,90 \pm 0,04 ^D

Nota. Los valores corresponden a la media desviación estándar (\pm) de tres repeticiones. Las letras mayúsculas diferentes colocadas como superíndices en cada columna representa diferencia significativa ($p < 0.05$) para cada concentración en extracto y polvo atomizado.

En la tabla 3 se describen los valores de la capacidad antioxidante con las diferentes concentraciones de agua – etanol, en donde, se observa que hay diferencia significativa entre la relación 100% agua – 0% etanol, con el resto de las concentraciones, ya que el rendimiento de la misma resulta está en un valor de $233,58 \pm 4,67 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g.m.s}$, el cual, es significativamente menor con respecto a las concentraciones que tienen mayor porcentaje de etanol para la obtención de los extractos, las dos concentraciones antes mencionadas tienen diferencia significativa con la relación 50% agua – 50% etanol y 60% agua – 40% etanol, con valores cercanos a $450 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g.m.s}$. En relación con el rendimiento del método referente a extractos se determina que la relación que permite obtener un valor superior es de 60% agua y 40% etanol, ya que tiene un valor calculado de $445,09 \pm 3,53 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g.m.s}$.

Alusivo al polvo atomizado la diferencia está en la relación 100% agua, ya que es la relación con el menor rendimiento en correlación con las demás concentraciones, entre las mismas se encuentra la relación 50/50 de agua/etanol con un valor de $2,51 \pm 0,08 \mu\text{M Trolox}/100 \text{ g de atomizado}$. Referente a las concentraciones restantes tienen relación entre cada uno de los valores, de la cual se destaca que el mayor rendimiento para la obtención

del polvo atomizado está en la relación 60% agua – 40% etanol, con un valor de $2,93 \pm 0,06$ μM Trolox/100 g de atomizado.

Así mismo, al analizar los datos de la tabla 3 se observa que los valores en polvo atomizado son bajos, esto se debe a que el proceso de atomizado a 160°C pudo degradar algunos compuestos bioactivos de la muestra.

Al comparar estos valores con trabajos encontrados que se enfocan en la determinación de la capacidad antioxidante de verduras y aislamiento de los compuestos bioactivos de cada uno de ellos, destaca la información reportada por Morillas-Ruiz & Delgado-Alarcón, (2012) donde analiza las verduras de diferentes orígenes, entre las cuales está la remolacha, de la cual reporta un valor de $145,91 \pm 0,08$ μM Trolox/100 g de masa fresca, valor que en relación con los obtenidos en el trabajo de investigación es menor, debido al uso de los solventes y métodos de conservación como es el proceso de atomización.

El autor Macías Candelario & Suárez Silva, (2019) en su trabajo enfocado en la caracterización de la cáscara de remolacha reporta obtener un valor de $1,815$ μM Trolox/100 g de un extracto etanólico, que, en comparación con los valores de extracto y polvos atomizados, se asemejan a los polvos atomizados, ya que son valores cercanos.

Zambrano, (2021) realiza un análisis sobre la capacidad antioxidante en matrices vegetales, en donde compara los valores del rábano rojo y zanahoria blanca, donde reporta valores de 3948 μM Trolox/100 g y $2,2$ μM Trolox/100 g, respectivamente. Estos valores son cercanos a los obtenidos tanto en el extracto como en los polvos atomizados.

4.2.2 ABTS

Después de haber aplicado el método de ABTS descrito por Thaipong et al., (2006c) se obtuvo los resultados descritos en la tabla 4, en donde se puede visualizar que el extracto con mayor capacidad antioxidante es la relación 50% agua - 50% etanol, con un valor de $736 \pm 143,00$ g Trolox/ 100 g.m.s, no obstante, en los polvos atomizados el estadísticamente mayor corresponde al que contiene 80% agua - 20% etanol que informa de un valor de $4,22 \pm 0,12$ μM Trolox/100g de atomizado.

Tabla 3*Capacidad antioxidante ABTS*

Experimentos	Muestras	
	Extracto (g Trolox/100 g.m.s)	Polvo Atomizado (μ M Trolox/100g de atomizado)
50% Agua - 50% Etanol	736,22 \pm 143,00 ^A	2,99 \pm 0,20 ^A
60% Agua - 40% Etanol	699,92 \pm 53,70 ^D	4,06 \pm 0,17 ^C
70% Agua - 30% Etanol	728,28 \pm 28,34 ^A	3,50 \pm 0,18 ^B
80% Agua - 20% Etanol	435,91 \pm 83,01 ^C	4,22 \pm 0,12 ^C
90% Agua - 10% Etanol	272,28 \pm 35,79 ^B	3,76 \pm 0,17 ^B
100% Agua - 0% Etanol	206,49 \pm 16,08 ^B	2,93 \pm 0,14 ^A

Nota Los valores corresponden a la media desviación estándar (\pm) de tres repeticiones. Las letras mayúsculas diferentes colocadas como superíndices en cada columna representa diferencia significativa ($p < 0.05$) para cada concentración en extracto y polvo atomizado.

En la tabla 4 se observan los valores obtenidos de la capacidad antioxidante del extracto, mismos que reportan diferencia significativa entre la relación 80% agua – 20% etanol con un valor de 435,91 \pm 83.01 g Trolox/100 g.m.s, la relación 90% agua – 10% etanol con un valor de 272,28 \pm 35,79 g Trolox/100 g.m.s y la relación 100% agua – 0% etanol con un valor de 206,49 \pm 16,08 g Trolox/100 g.m.s obteniendo el mejor resultado en la extracción de compuestos fenólicos de la remolacha.

En relación con los polvos atomizados no hay diferencia significativa entre las relaciones 100% agua – 0% etanol y 50% agua – 50% etanol, ya que sus valores son cercanos a 3,00 g Trolox/100 g.m.s. Sin embargo, la relación 60% agua – 40% etanol tiene diferencia significativa con respecto a las mencionadas anteriormente, debido a que tiene una concentración de capacidad antioxidante de 4,06 \pm 0.17 g Trolox/100 g.m.s.

4.2.3 FRAP

Los polvos atomizados obtenidos a partir de diferentes relaciones de solvente agua – etanol presentaron diferencia significativa para el que contiene 100% de agua en relación al resto de los experimentos, mismo que contiene un rendimiento menor en la extracción antioxidantes, referente a los experimentos no mencionados presentan diferencia significativa

entre los que tienen relación 50% agua – 50% etanol en comparación al 60% agua – 40% etanol.

Tabla 5

Resultados obtenidos de la capacidad antioxidante FRAP

Muestras	Polvo Atomizado Concentración μM Trolox/100g de atomizado
50% Agua - 50% Etanol	1,05 \pm 0,20 ^A
60% Agua - 40% Etanol	1,15 \pm 0,22 ^C
70% Agua - 30% Etanol	1,00 \pm 0,12 ^A
80% Agua - 20% Etanol	0,80 \pm 0,17 ^D
90% Agua - 10% Etanol	0,56 \pm 0,05 ^E
100% Agua - 0% Etanol	0,21 \pm 0,02 ^B

Nota. Los valores corresponden a la media desviación estándar (\pm) de tres repeticiones. Las letras mayúsculas diferentes colocadas como superíndices en cada columna representa diferencia significativa ($p < 0.05$) para polvo atomizado.

Lo que se destaca de los valores reportados en el presente trabajo es que el rango de la capacidad antioxidante de la remolacha va desde 0,80 μM Trolox/100 g de atomizado hasta 1,15 Trolox/100 g de atomizado, en donde depende de la cantidad de etanol que se utiliza para realizar la obtención de los extractos, es decir, utilizando el 100% de agua el rendimiento en la extracción de la capacidad antioxidante es menor, en cambio, al utilizar el 50% y 40% el rendimiento en la obtención de los extractos se asemeja por ende el rendimiento del mismo aumenta.

Los resultados sobre la capacidad antioxidante en los extractos y polvos atomizados por los diferentes métodos permiten determinar que, a menor cantidad de etanol para la extracción, minimiza el rendimiento de la obtención de antioxidantes para aplicación futura a una matriz alimentaria.

Conclusiones

De los experimentos aplicados para la obtención de los extractos se concluye que el mejor rendimiento en la extracción de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante está entre los que se utiliza el 50%, 40% y 30% de etanol.

Los polvos atomizados en cambio al utilizar desde 40%, 30% y 20% de etanol en la relación de solvente Agua/etanol reportan valores mayores en los métodos DPPH, ABTS y FRAP, por el contrario, en la determinación de fenoles totales al utilizar el 50% agua – 50% etanol y 90% agua – 10% etanol se obtuvieron los valores más altos.

En conclusión, se determina que la cantidad de fenoles totales y capacidad antioxidante de la remolacha es superior en comparación con las verduras, por ende, aumenta el valor agregado de la remolacha y el subproducto de la misma.

Recomendaciones

Realizar un estudio de la estabilidad de los extractos y polvos atomizados para conocer el tiempo de vida útil del mismo y su efecto positivo en la aplicación de matrices alimentarias.

Experimentar con la inclusión en un producto alimenticio y cuál es la influencia negativa o positiva que tiene al incorporar en el alimento elaborado.

Comprobar la eficiencia que tiene el extracto y polvo atomizado como antioxidante en matrices alimentarias.

Referencias

- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021a). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4(March), 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021b). Extraction of phenolic compounds: A review. *Current Research in Food Science*, 4(March), 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
- Albuquerque, B. R., Heleno, S. A. 8., Oliveira, M. B. P. P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2021). Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. *Food and Function*, 12(1), 14–29. <https://doi.org/10.1039/d0fo02324h>
- Álvarez-Gómez, F., Korbee, N., & Figueroa, F. (2016). Analysis of antioxidant capacity and bioactive compounds in marine macroalgal and lichenic extracts using different solvents and evaluation methods. *Ciencias Marinas*, 42(4), 271–288.
- Arteaga, J. F., Ruiz-Montoya, M., Palma, A., Alonso-Garrido, G., Pintado, S., & Rodríguez-Mellad, J. M. (2012). Comparison of the simple cyclic voltammetry (CV) and DPPH assays for the determination of antioxidant capacity of active principles. *Molecules*, 17(5), 5126–5138. <https://doi.org/10.3390/molecules17055126>
- Babu, A. K., Kumaresan, G., Raj, V. A. A., & Velraj, R. (2018). Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90(December 2016), 536–556. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.002>
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>

- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Campos, D. A., Gómez-García, R., Vilas-boas, A. A., Madureira, A. R., & Pintado, M. M. (2020). Management of Fruit Industrial By-Products — A Case. *Mdpi*, 25(320), 1–22.
- Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6(4), 420–428. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.05.003>
- Casierra-Posada, F., & Pinto-Correa, J. R. (2011). Crecimiento de plantas de remolacha (*Beta vulgaris* L. var. Crosby Egipcia) bajo coberturas de color. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(2).
- Castromonte, M., Wacyk, J., & Valenzuela, C. (2020). Encapsulación de extractos antioxidantes desde sub-productos agroindustriales: una revisión. *Revista Chilena de Nutrición*, 47(5), 836–847. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182020000500836>
- Cazorla García, J. G. (2018). Aplicación de la técnica de microencapsulación de betalaínas extraídas a partir de la remolacha (*Beta vulgaris*). *Repositorio Técnica de Ambato* . <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/28230>
- Ceclu, L., & Nistor, O.-V. (2020). Red Beetroot: Composition and Health Effects - A Review. *Journal of Nutritional Medicine and Diet Care*, 6.
- Chua, L. Y. W., Chong, C. H., Chua, B. L., & Figiel, A. (2019). Influence of drying methods on the antibacterial, antioxidant and essential oil volatile composition of herbs: a Review. *Food and Bioprocess Technology*, 12(3), 450–476. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2227-x>
- Coronel-Aguilera, C. P., & San Martín-González, M. F. (2015). Encapsulation of spray dried β -carotene emulsion by fluidized bed coating technology. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.036>
- de Albuquerque, M. A. C., Levit, R., Beres, C., Bedani, R., de Moreno de LeBlanc, A., Saad, S. M. I., & LeBlanc, J. G. (2019). Tropical fruit by-products water extracts of tropical fruit by-products

as sources of soluble fibres and phenolic compounds with potential antioxidant, anti-inflammatory, and functional properties. *Journal of Functional Foods*, 52(December 2018), 724–733. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.12.002>

El-Beltagi, H. S., El-Mogy, M. M., Parmar, A., Mansour, A. T., Shalaby, T. A., & Ali, M. R. (2022). Phytochemical Characterization and Utilization of Dried Red Beetroot (*Beta vulgaris*) Peel Extract in Maintaining the Quality of Nile Tilapia Fish Fillet. *Antioxidants*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/antiox11050906>

Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi Ashtari, A., & Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 90(4), 667–675. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.006>

Gowen, A. A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., & Oliveira, J. (2008). Modeling dehydration and rehydration of cooked soybeans subjected to combined microwave-hot-air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(1), 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.06.009>

Gülçin, I. (2012). Antioxidant activity of food constituents: An overview. *Archives of Toxicology*, 86(3), 345–391. <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0774-2>

Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S. V., & Peralta, R. M. (2012a). Phenolic compounds in fruits - an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(10), 2023–2044. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x>

Haminiuk, C. W. I., Maciel, G. M., Plata-Oviedo, M. S. V., & Peralta, R. M. (2012b). Phenolic compounds in fruits - an overview. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(10), 2023–2044. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03067.x>

Igual, M., Ramires, S., Mosquera, L. H., & Martínez-Navarrete, N. (2014a). Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.02.003>

Igual, M., Ramires, S., Mosquera, L. H., & Martínez-Navarrete, N. (2014b). Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256, 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.02.003>

- Karadag, A., Ozcelik, B., & Saner, S. (2009). Review of methods to determine antioxidant capacities. *Food Analytical Methods*, 2(1), 41–60. <https://doi.org/10.1007/s12161-008-9067-7>
- Khoddami, A., Wilkes, M. A., & Roberts, T. H. (2013a). Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules*, 18(2), 2328–2375. <https://doi.org/10.3390/molecules18022328>
- Khoddami, A., Wilkes, M. A., & Roberts, T. H. (2013b). Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules*, 18(2), 2328–2375. <https://doi.org/10.3390/molecules18022328>
- Kim, B.-K., Jang, H., Choi, G., Moon, Y.-I., Oh, S., & Park, D. (2019). Application of dairy food processing technology supplemented with enriched-nutrients for the elderly: II. The applicable technology of carefoods for the elderly. *Journal of Milk Science and Biotechnology*, 37(4), 213–222.
- Konan, K. V., Le Tien, C., & Mateescu, M. A. (2016a). Electrolysis-induced fast activation of the ABTS reagent for an antioxidant capacity assay. *Analytical Methods*, 8(28), 5638–5644. <https://doi.org/10.1039/c6ay01088a>
- Konan, K. V., Le Tien, C., & Mateescu, M. A. (2016b). Electrolysis-induced fast activation of the ABTS reagent for an antioxidant capacity assay. *Analytical Methods*, 8(28), 5638–5644. <https://doi.org/10.1039/c6ay01088a>
- Lazăr, S., Constantin, O. E., Stănciuc, N., Aprodu, I., Croitoru, C., & Râpeanu, G. (2021). Optimization of betalain pigments extraction using beetroot by-products as a valuable source. *Inventions*, 6(3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/inventions6030050>
- Lee, Y. K., Ahn, S. II, & Kwak, H. S. (2013). Optimizing microencapsulation of peanut sprout extract by response surface methodology. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.06.006>
- Liang, N., & Kitts, D. D. (2014a). Antioxidant property of coffee components: Assessment of methods that define mechanism of action. *Molecules*, 19(11), 19180–19208. <https://doi.org/10.3390/molecules191119180>
- Liang, N., & Kitts, D. D. (2014b). Antioxidant property of coffee components: Assessment of methods that define mechanism of action. *Molecules*, 19(11), 19180–19208. <https://doi.org/10.3390/molecules191119180>

- Macías Candelario, R. B., & Suárez Silva, J. L. (2019). *Determinación de polifenoles totales y actividad antioxidante de la cáscara de veteraba (Beta vulgaris L.)*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/40740>
- Mesa-Vanegas, A., Zapata-Uribe, S., Arana, L. M., Zapata, I., Monsalve, Z., & Rojano, B. (2015). Actividad antioxidante de extractos de diferente polaridad de *Ageratum conyzoides* L. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 14, 14(1), 1–10.
- Moghaddam, A. D., Pero, M., & Askari, G. R. (2017a). Optimizing spray drying conditions of sour cherry juice based on physicochemical properties, using response surface methodology (RSM). *Journal of Food Science and Technology*, 54(1), 174–184. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2449-8>
- Moghaddam, A. D., Pero, M., & Askari, G. R. (2017b). Optimizing spray drying conditions of sour cherry juice based on physicochemical properties, using response surface methodology (RSM). *Journal of Food Science and Technology*, 54(1), 174–184. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2449-8>
- Morillas-Ruiz, J., & Delgado-Alarcón, J. (2012). Análisis nutricional de alimentos vegetales con diferentes orígenes: Evaluación de capacidad antioxidante y compuestos fenólicos totales. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 32(2), 8–20. <https://medes.com/publication/75308>
- Muñoz-Bernal, Ó. A., Torres-Aguirre, G. A., Núñez-Gastélum, J. A., de la Rosa, L. A., Rodrigo-García, J., Ayala-Zavala, J. F., & Álvarez-Parrilla, E. (2017a). Nuevo acercamiento a la interacción del reactivo de Folin-ciocalteu con azúcares durante la cuantificación de polifenoles totales. *Tip Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 20(2), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.003>
- Muñoz-Bernal, Ó. A., Torres-Aguirre, G. A., Núñez-Gastélum, J. A., de la Rosa, L. A., Rodrigo-García, J., Ayala-Zavala, J. F., & Álvarez-Parrilla, E. (2017b). Nuevo acercamiento a la interacción del reactivo de Folin-ciocalteu con azúcares durante la cuantificación de polifenoles totales. *Tip Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 20(2), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.recqb.2017.04.003>

- Muzaffar, K., Dinkarrao, B. V., & Kumar, P. (2016a). Optimization of spray drying conditions for production of quality pomegranate juice powder. *Cogent Food and Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127583>
- Muzaffar, K., Dinkarrao, B. V., & Kumar, P. (2016b). Optimization of spray drying conditions for production of quality pomegranate juice powder. *Cogent Food and Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127583>
- Ninfali, P., & Angelino, D. (2013). Nutritional and functional potential of Beta vulgaris cicla and rubra. *Fitoterapia*, 89(1), 188–199. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.06.004>
- Patil, V., Chauhan, A. K., & Singh, R. P. (2014a). Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. *Powder Technology*, 253, 230–236. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.11.033>
- Patil, V., Chauhan, A. K., & Singh, R. P. (2014b). Optimization of the spray-drying process for developing guava powder using response surface methodology. *Powder Technology*, 253, 230–236. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.11.033>
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Restrepo-Sánchez, D., Narváez-Cuenca, C., & Restrepo-Sanchez, L. (2009). Extracción de compuestos con actividad antioxidante de frutos de guayaba cultivada en Vélez-Santader, Colombia. *Química Nova*, 32(6), 1517–1522.
- Reus, M. (2019). *La Remolacha*.
- Roginsky, V., & Lissi, E. A. (2005). Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. *Food Chemistry*, 92(2), 235–254. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.004>
- Sakulnarmrat, K., & Konczak, I. (2022). Encapsulation of Melodorum fruticosum Lour. anthocyanin-rich extract and its incorporation into model food. *Lwt*, 153(October 2021), 112546. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112546>

- Sawicki, T., Bączek, N., & Wiczowski, W. (2016). Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part. *Journal of Functional Foods*, 27, 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.09.004>
- Sheila, J., Sarah, M., Priyadarshini, S., Sivaraj, C., & Arumugam, P. (2017). Antioxidant and antibacterial activities of Beta vulgaris L. peel extracts. *International Journal of Pharma Research and Health Sciences*, 5(6), 1974–1979. <https://doi.org/10.21276/ijprhs.2017.06.14>
- Shishir, M., & Chen, W. (2017a). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juice. *Trends in Food Science & Technology*, 65, 49–67.
- Shishir, M., & Chen, W. (2017b). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juice. *Trends in Food Science & Technology*, 65, 49–67.
- Silva Arcos, B. M., & Toapanta Oña, D. S. (2011). *Elaboración de vino de remolacha a partir de dos variedades (Beta vulgaris), conditiva y macrohiza, utilizando dos endulzantes naturales stevia (stevia rebaudiana) y miel de abeja*. Universidad Técnica de Cotopaxo.
- Slatnar, A., Stampar, F., Veberic, R., & Jakopic, J. (2015). HPLC-MSn identification of betalain profile of different beetroot (Beta vulgaris L. ssp. vulgaris) parts and cultivars. *Journal of Food Science*, 80(9), C1952–C1958. <https://doi.org/doi:10.1111/1750-3841.12977>
- Spreng, S., & Hofmann, T. (2018). Activity-Guided Identification of in Vitro Antioxidants in Beer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(3), 720–731. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05674>
- Sucupira, N. R., Silva, A. B. Da, Pereira, G., & Costa, J. N. Da. (2014). Métodos Para Determinação da Atividade Antioxidante de Frutos. *Científica Ciências Biológicas e Da Saúde*, 14(4), 263–269.
- Takács-Hájos, M., & Vargas-Rubóczki, T. (2022). Evaluation of bioactive compounds in leaf and root of five beetroot varieties. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7(February). <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100280>
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006a). 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>

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006b).

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>

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006c).

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>

Vardhan, P. V., & Shukla, L. I. (2017). Gamma irradiation of medicinally important plants and the

enhancement of secondary metabolite production. *International Journal of Radiation Biology*,

93(9), 967–979. <https://doi.org/10.1080/09553002.2017.1344788>

Zambrano, A. D. (2021). *Análisis informétrico de la producción científica internacional sobre la*

capacidad antioxidante en matrices vegetales.

<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24074>

Zapata, S., Piedrahita, A. M., & Rojano, B. (2014). Capacidad atrapadora de radicales oxígeno

(ORAC) y fenoles totales de frutas y hortalizas de Colombia. *Perspectivas En Nutrición Humana*, 16(1), 25–36.

Ziaee, A., Albadarin, A. B., Padrela, L., Femmer, T., O'Reilly, E., & Walker, G. (2019). Spray drying

of pharmaceuticals and biopharmaceuticals: Critical parameters and experimental process optimization approaches. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 127(November

2018), 300–318. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2018.10.026>