



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

TÍTULO DE BIOQUÍMICO FARMACEÚTICO

Secado por atomización del extracto de subproducto de tamarindo *Tamarindus indica* L.

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTOR: Maldonado Morocho, Jimmy Alexander

DIRECTORA: Guamán Balcázar, María del Cisne, MSc.

LOJA – ECUADOR

2018



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>

2018

APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magister

María del Cisne Guamán Balcázar.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Secado por atomización del extracto de subproducto de tamarindo *Tamarindus indica* L. realizado por Maldonado Morocho Jimmy Alexander ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, febrero de 2018

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, Maldonado Morocho Jimmy Alexander declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Secado por atomización del extracto de subproducto de tamarindo *Tamarindus indica* L. , de la Titulación de Bioquímica y Farmacia, siendo la MSc. María del Cisne Guamán Balcázar directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f).....

Autor: Maldonado Morocho, Jimmy Alexander

Cédula 1103509160

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico principalmente a mis padres, Franklin y Carmen que han sido pilar y consejeros de mi formación académica y personal.

A mis hermanos, Frank, Maribel, que me han apoyado durante mi formación.

A todos mis maestros que me han guiado hasta esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y mi familia por ser el motor de mi vida.

A mi directora del proyecto, M. Sc. María del Cisne Guamán, gracias por guiarme, por su calidez humana.

A mis compañeros de los que me llevo buenos recuerdos.

Gracias.

ÍNDICE

CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
1. MARCO TEÓRICO	5
1.1. Tamarindo (<i>Tamarindus indica</i> L.).....	6
1.2. Subproducto del fruto de tamarindo.	7
1.3. Secado por aspersión.	8
1.3.1. Encapsulantes.	10
1.3.2. Variables de secado por aspersión.	10
1.4. Compuestos fenólicos.	11
1.5. Antioxidantes y radicales libres.	13
1.6. Determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante.	14
1.6.1. Fenoles totales.	14
1.6.2. FRAP.....	14
1.6.3. ABTS.....	15
1.6.4. DPPH.	15
2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	16
2.1. General:.....	17
2.2. Específicos:	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Materiales, reactivos y equipos utilizados.....	19

3.1.1.	Materia prima.....	19
3.1.2.	Reactivos.....	19
3.2.	Preparación de la materia prima.....	19
3.2.1.	Obtención del extracto.....	20
3.3.	Sólidos solubles	20
3.4.	Acidez.....	20
3.5.	Sólidos totales.	20
3.6.	pH.	21
3.7.	Obtención del atomizado	21
3.7.1.	Rendimiento de los atomizados	22
3.7.2.	Diseño estadístico	22
3.8.	Flujo de la bomba peristáltica.....	23
3.9.	Reconstitución de los atomizados	23
3.10.	Cuantificación de fenoles totales y capacidad antioxidante.	23
3.10.1.	Fenoles totales.....	23
3.10.2.	FRAP	23
3.10.3.	ABTS	24
3.10.4.	DPPH.....	24
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1.	Rendimiento de la materia prima y características de su extracto.	26
4.2.	Atomizados	26
4.2.1.	Rendimiento de los atomizados	26
4.2.2.	Efecto del flujo, temperatura, y sólidos en el rendimiento.	27
4.2.3.	Optimización del Rendimiento	29
4.3.	Efecto de las variables sobre fenoles totales y capacidad antioxidante de los atomizados	31
4.3.1.	Optimización de fenoles totales y capacidad antioxidante.	33
	CONCLUSIONES.....	34
	RECOMENDACIONES.....	35
	BIBLIOGRAFÍA.....	36
	ANEXOS	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fruto tamarindo (<i>Tamarindus indica</i> L.).....	6
Figura 2: Subproducto del fruto de tamarindo.....	7
Figura 3: Equipo de secado por aspersión Spray Drier Büchi-290.....	9
Figura 4: Principio funcional de la dispersión de la muestra en Spray Drier Büchi-290.....	9
Figura 5: Clasificación de los compuestos fenólicos.....	12
Figura 6: a) Fibra del mesocarpio, b) Fibra cortada 2 cm aproximadamente.....	19
Figura 7: Proceso de atomización.....	21
Figura 8: Diagrama de Pareto para rendimiento.....	29
Figura 9: Superficie de respuesta estimada para rendimiento.....	29
Figura 10: a) Diagrama de Pareto para fenoles totales, b) Diagrama de Pareto para FRAP	32
Figura 11: a) Diagrama de Pareto para ABTS, b) Diagrama de Pareto para DPPH	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variables de los atomizados.....	22
Tabla 2: Rendimiento de las partes del fruto de <i>Tamarindus indica</i> L.....	26
Tabla 3: Sólidos totales, acidez, pH y °Brix del extracto y extracto de la pulpa.....	26
Tabla 4: Valores promedio de rendimiento en respuesta a las variables de estudio: flujo, sólidos, temperatura de entrada.....	27
Tabla 5: Condiciones experimentales de secado por aspersión, realizado por diferentes autores para obtener el mejor rendimiento.	28
Tabla 6: Optimización del rendimiento (71.48 %).....	30
Tabla 7: Valores promedio de los métodos: Folin-Ciocalteu (Fenoles totales), FRAP, ABTS, DPPH; en respuesta a las variables de estudio: flujo, sólidos, temperatura de entrada.....	32
Tabla 8: Optimización de múltiples respuestas de fenoles totales y capacidad antioxidante en comparación con los valores del extracto de la fibra del mesocarpio del fruto de tamarindo.....	33

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Flujo de la bomba peristáltica.....	43
Anexo B: Reconstitución de atomizados.....	44
Anexo C: Sólidos totales, acidez.....	44
Anexo D: Rendimiento de los atomizados.....	46
Anexo E: Fenoles totales y actividad antioxidante.....	52
1. Fenoles totales.....	52
2. FRAP.....	59
3. ABTS.....	66
4. DPPH.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS

H₂O = Agua

L = Litro

°C = Grados Celsius

mL = Mililitro

Kg = Kilogramo

g = Gramo

mg = Miligramo

μM = Micromol

EAG = Equivalente de ácido gálico

ET = Equivalente de trolox

nm = Nanómetro

F_B = Flujo de la bomba

S = Sólidos

S_s = Sólidos solubles

T₀ = Temperatura de entrada

R = Rendimiento

D_E = Desviación estándar

C_V = Coeficiente de variación

RESUMEN

Extractos de subproductos de tamarindo fueron deshidratados utilizando la tecnología de atomización bajo las siguientes variables: (i) temperatura de entrada (140, 155 y 170 °C), (ii) sólidos solubles en el extracto ajustado con maltodextrina (5, 7.5, 10 %) y (iii) capacidad de la bomba (20, 30, 40 %). Empleando un total de 27 atomizados y empleando un análisis de superficie de respuesta, se optimizó las variables antes descritas y se obtuvo un rendimiento de atomización de 71.48 %, con los siguientes valores: temperatura de entrada 154.05 °C, 6.96 % de sólidos y 20 % de la capacidad de la bomba. Se determinó los fenoles totales a los atomizados resultantes obteniendo valores entre 72.58 – 178.94 mg EAG/100 g. Se determinó la capacidad antioxidante: FRAP cuyos resultados están entre 3.52 – 16.58 μM ET/g, ABTS entre 2.89 – 8.76 μM ET/100 g y DPPH alcanzó valores entre 1.97 – 13.51 μM ET/g. El atomizado presentó un buen rendimiento y valores intermedios de fenoles totales y actividad antioxidante, por lo cual sería un producto alternativo en la industria de alimentos.

Palabras clave: Atomización; *Tamarindus indica* L.; Tamarindo; Fenoles totales; Actividad antioxidante.

ABSTRACT

Extracts of tamarind by-products were dehydrated using atomization technology under the following variables: (i) inlet temperature (140, 155 and 170 ° C), (ii) soluble solids in the extract adjusted with maltodextrin (5, 7.5, and 10 %) and (iii) pump capacity (20, 30, and 40 %). Employing a total of 27 atomized and using a response surface analysis, the variables previously described were optimized; the powder yield of 71.48 % was obtained with the following conditions: inlet temperature of 154.05 °C, 6.96 % of solids and 20% of pump capacity. Total phenols were determined to the resulted atomized obtaining values between 72.58 - 90.82 mg Eq AG / 100 g. The antioxidant capacity was determined: FRAP results are between: 3.52 – 16.58 μM ET/g, ABTS between: 2.89 – 8.76 μM Eq Trolox /100 g and DPPH reached values betwixt 1.97 – 13.51 μM ET/g. The atomized exhibit good yield and intermediate values of total phenols and antioxidant activity, so it could be an alternative product to the food industry.

Keywords: Atomization; *Tamarindus indica* L.; Tamarind; Total phenols; Antioxidant activity.

INTRODUCCIÓN

El tamarindo (*Tamarindus indica* L.) es un frutal altamente rústico perteneciente a la familia de las leguminosas (Fabaceae). El fruto es una vaina curvada de 12 a 15 cm de longitud, del cual, la fibra del mesocarpio que no tiene uso en la literatura científica (Maheswari, Reddy, Muzenda, Shukla, & Rajulu, 2013; Tirado, Acevedo, Montero, & Consulado, 2014) fue objeto del presente estudio, con el fin de que en un futuro se pueda ligar al sector agroindustrial existente, en el cual se manejan diversos tipos de tecnologías de conservación. Entre las tecnologías más empleadas están los procesos de deshidratación que resultan prácticos, ya que facilitan la obtención de un producto para el consumo con cierta similitud al estado fresco (García Pereira, Muñiz Becerá, Hernández Gómez, González, & Fernández Valdés, 2013).

Una de las técnicas de deshidratación es el secado por aspersión, que valiéndose de un encapsulante como maltodextrina, puede mejorar las propiedades y características de los productos deshidratados (Luna, López, Jiménez, & Luna, 2016). Los productos en polvo obtenido de frutas, representan una forma relativamente concentrada de frutas frescas, pues la eliminación de la humedad confiere una mayor estabilidad, además poseen una mayor energía total, densidad de nutrientes, fibra, y a menudo, significativamente mayor actividad antioxidante en comparación con las frutas frescas como consecuencia de la concentración (Bennett et al., 2011). El secado por aspersión y consecuente encapsulación (atomizado), ayuda a proteger a distintos nutrientes y conservar compuestos bioactivos o antioxidantes en frutas y vegetales por lo que se han realizado numerosos estudios donde utilizan esta técnica para la conservación de los compuestos mencionados, esto cobra importancia debido a que en la sociedad en general, existe un incremento en el consumo de aquellos alimentos que contribuyen a mejorar la salud del consumidor (Luna et al., 2016). Los antioxidantes previenen del daño oxidativo, contrarrestando así el riesgo de enfermedades degenerativas causadas por los radicales libres (Marina, Avella, Alberto, García, & Cisneros, 2008), es por esto que en la presente investigación se cuantificó en los atomizados: los compuestos fenólicos mediante el reactivo Folin–Ciocalteu y capacidad antioxidante mediante los métodos FRAP, ABTS, DPPH (Thaipong, Boonprakob, Crosby, Cisneros-Zevallos, & Hawkins Byrne, 2006).

Para que un proceso sea rentable es importante obtener un alto rendimiento, lo que conlleva a investigar la influencia de diferentes parámetros, en el presente proceso de atomización hay muchos parámetros que pueden influir en el rendimiento como: las propiedades del material, la temperatura de entrada, la velocidad de alimentación, el flujo de aire de pulverización y el flujo del aspirador los cuales están en un sistema combinado que repercute en el producto (Spray Drying training paper, s.f.), de los cuáles en el presente estudio se han tomado en

cuenta los siguientes: (i) flujo de alimentación del extracto (20 – 40 % de la capacidad de la bomba peristáltica), (ii) temperatura de entrada del aire de secado (140 – 170 °C), (iii) concentración de sólidos regulados con maltodextrina (5 – 10 %). Manteniendo constantes los parámetros como: (i) flujo de gas pulverizado (357 L/h), (ii) encapsulante (maltodextrina), (iii) volumen de extracto pulverizado (150 mL).

Una vez obtenidos los resultados se realizó un análisis de superficie de respuesta para determinar las mejores condiciones para obtener el mejor rendimiento de atomización, mayor cantidad de fenoles totales y actividad antioxidante.

La dificultad durante la realización del presente proyecto fue el conseguir la materia prima pues no es común la venta del tamarindo conjuntamente con su vaina.

En el presente documento, el capítulo 1, consta de marco teórico en el cual hay información sobre *Tamarindus indica* L., el subproducto de tamarindo, el secado por aspersión, fenoles totales y capacidad antioxidante; en el capítulo 2, se describe cada uno de los objetivos, el capítulo 3, detalla cada uno de los materiales y métodos empleados; los resultados y discusión están explicados en el capítulo 4, el capítulo 5, trata de las conclusiones del presente trabajo, en el capítulo 6, las recomendaciones, el capítulo 7, contiene la bibliografía consultada, y finalmente en capítulo 8 se hallarán los anexos con información de cada uno de los procedimientos analíticos y estadísticos usados.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Tamarindo (*Tamarindus indica* L.).

Tamarindo o *Tamarindus indica* L. es de la familia Fabaceae, subfamilia Caesalpinioideae, y originario de África tropical ha sido introducido y naturalizado en más de 50 países. Fue introducido al continente Americano por los españoles (Acevedo, Tirado, & Guzmán, 2013). Las principales zonas de producción se encuentran en los países asiáticos, India y Tailandia, pero también en Bangladesh, Sri Lanka e Indonesia (Caluwé, Halamová, & Van Damme, 2010); en Ecuador se cultiva en bosques secos, en las provincias de Galápagos, Loja, Los Ríos y Manabí (Aguirre, 2012). Es un árbol multiusos de los que casi todas las partes tienen al menos algún uso, ya sea nutricional o medicinal (Caluwé et al., 2010).

La explotación del cultivo de tamarindo hace énfasis principalmente en la producción de pulpa para su uso en la elaboración de dulces, jugos, jaleas, pulpas, refrescos embotellados, helados (Acevedo et al., 2013). Además se conoce que el fruto de tamarindo (**Figura 1**) contiene alrededor de 55 % de pulpa, 34 % de semillas y 11 % de vaina más fibras (Caluwé et al., 2010).



Figura 1: Fruto tamarindo (*Tamarindus indica* L.)

Fuente: Polanco Plinio (2015)

Elaboración: Polanco Plinio (2015)

El árbol de tamarindo puede producir un rendimiento anual de fruta en el rango de 150-500 kg por árbol y se estima que la producción de frutas excede las 300,000 toneladas anualmente en India. En su madurez los frutos se secan y agrietan fácilmente y la pulpa y las fibras se separan en el proceso que genera una cantidad significativa de residuos de cáscara, semillas y fibras (Maheswari et al., 2013).

En la medicina tradicional, se da al fruto de tamarindo propiedades curativas entre las que se encuentran: antimicrobianas, laxante antihelmínticas, prevención de cálculos renales, infecciones urinarias. Algunos de los compuestos bioactivos que se destacan y se han identificado son los carotenoides, fibra dietética y compuestos fenólicos, que contribuyen con un efecto positivo en la salud humana. Vale la pena mencionar que su proporción varía notablemente entre las diversas regiones (Páez, Mercado, Blancas, Villegas, & Sáyagoi, 2015).

1.2. Subproducto del fruto de tamarindo.

Se define como subproducto a los derivados de la transformación de un cultivo o producto animal procesado por una empresa agrícola. Dentro de los frutos con subproducto de cáscara se incluyen almendras, manzanas, albaricoques, aguacates, cerezas, dátiles, higos, pomelos, uvas, limones, limas, aceitunas, naranjas, duraznos, peras, ciruelas, ciruelas pasas, nueces (Nigam, Gupta, & Anthwal, 2009), tamarindo, entre otros. Cabe recalcar que del subproducto del tamarindo (**Figura 2**) constituye la fibra y cáscara del 11 al 30 % y las semillas del 33 al 44 % (Tirado et al., 2014).

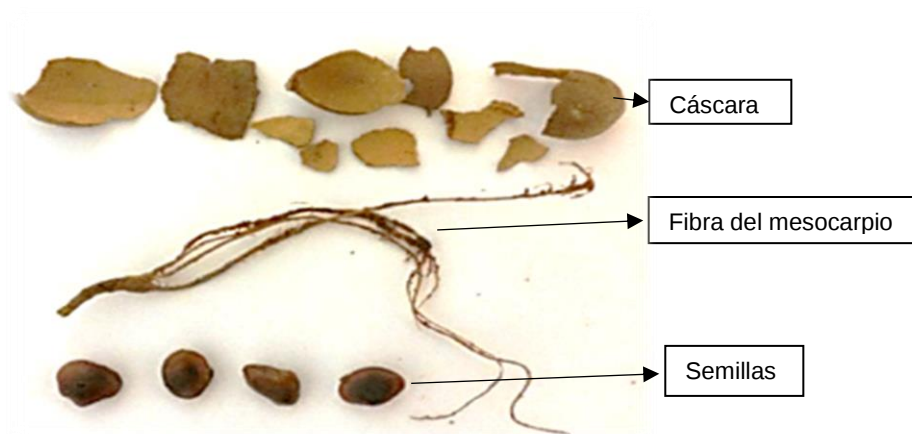


Figura 2: Subproducto del fruto de tamarindo

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Las semillas molidas se suelen usar como forraje para el ganado, a veces se usan en recetas de cocina, son astringentes y se usan para el tratamiento de la disentería e infecciones foliculares en la India. Se reporta que las semillas hervidas y machacadas se usan para el tratamiento de úlceras y piedras en la vejiga y la cáscara molida de las semillas se usa en el

tratamiento de la diabetes. Además, molidas, hervidas y mezcladas con goma, producen un cemento fuerte para la madera, se usan para producir un aceite de color ámbar para lámparas o para la preparación de pinturas y barnices. Así mismo también se emplea en textiles, papel, tratamiento de cuero y espesante de explosivos (Francis & Lowe, 2000; Maheswari et al., 2013). La cáscara de tamarindo, un subproducto del fruto, se utiliza para la eliminación de iones Cromo VI de soluciones acuosas (Rao Popuri, Jammala, Naga, & Abburi, 2007).

Las fibras del fruto de tamarindo están compuestas α -celulosa 59 %, hemicelulosa 22 %, lignina 19 % (Maheswari, Guduri, & Rajulu, 2008). No se han encontrado aplicaciones en la literatura científica para las fibras pero se están realizando estudios para utilizarla como reemplazo de fibras sintéticas como: vidrio, aramida y carbono con fibra de tamarindo que es un subproducto amigable con el ambiente (Maheswari et al., 2013).

1.3. Secado por aspersión.

El secado rápido y consecuentemente la estabilización rápida de los sólidos en la alimentación, hace que el secado por aspersión sea ideal para la ingeniería de partículas. La gama de aplicaciones de productos se expande continuamente como productos de leche en polvo, alimentos para bebés, café instantáneo, productos farmacéuticos, detergentes o tintes. En comparación con otros métodos de secado, el secado por aspersión es relativamente simple de escalar, sin embargo, sigue siendo una operación unitaria con algunas incertidumbres y dificultades esto debido a la gran influencia de las propiedades de los materiales y el comportamiento de secado del producto. Por esta razón el uso adecuado de los microencapsulados en la industria depende de la relación que se establece entre el principio activo y el polímero que funge como pared o encapsulante. También existen algunos factores que limitan o favorecen esta relación que son: la cinética de liberación, la relación del copolímero, el peso molecular del polímero, costo, tamaño de partícula, entre otros (Arpagaus & Schwartzbach, 2008; Luna et al., 2016).

El secado por aspersión es una tecnología ampliamente aplicada en las industrias química, alimentaria y farmacéutica. Es una operación de una sola unidad (**Figura 3**) que transforma rápidamente líquidos (soluciones, emulsiones, lechadas, pastas o incluso fundidos) en polvos en un proceso continuo y simple que consiste en la mezcla de la aspersión de gotitas finas generadas por un dispositivo de atomización (por ejemplo, boquillas) con una corriente de aire caliente por lo que el agua (H_2O) se evapora mientras está suspendida en el aire de secado.

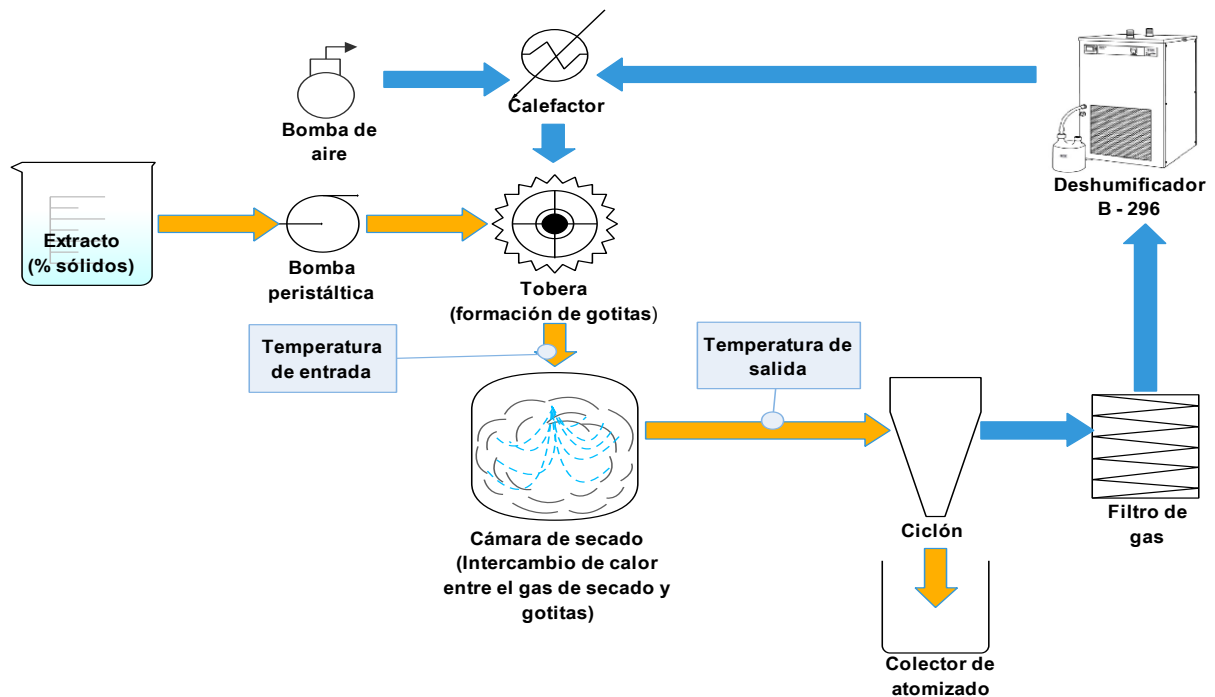


Figura 3: Equipo de secado por aspersión Spray Drier Büchi-290

Fuente: Programa Edraw, Autor

Elaboración: Autor

Debido a la evaporación, la temperatura de la gotita y el polvo permanecen en o por debajo de la temperatura del aire de secado en la salida del secador durante todo el proceso de secado (**Figura 4**). El secado se lleva a cabo en cuestión de segundos debido a la gran superficie del líquido en aspersión y a los altos coeficientes de transferencia de calor. Por lo tanto, es posible secar a temperaturas moderadas, lo que permite que incluso materiales sensibles al calor permanezcan activos después del proceso (Arpagaus & Schwartzbach, 2008).

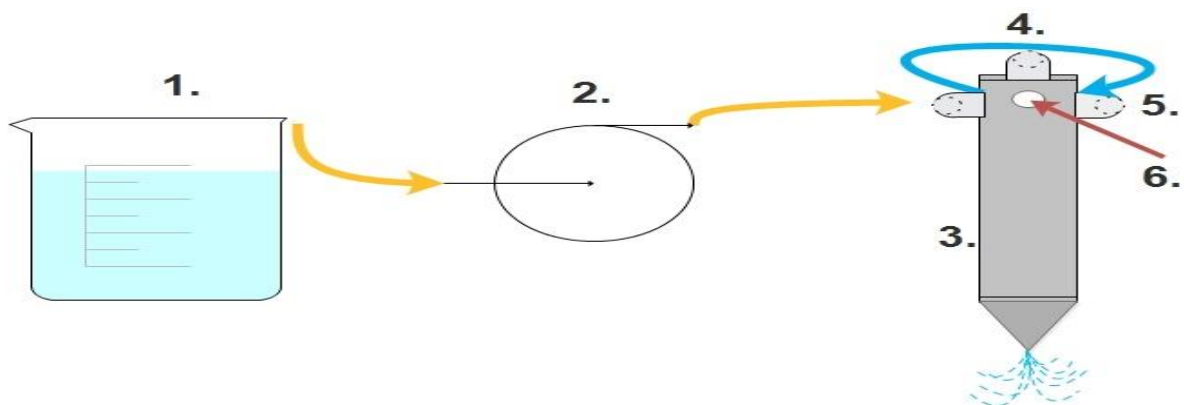


Figura 4: Principio funcional de la dispersión de la muestra en Spray Drier Büchi-290: 1. Solución de alimentación, 2. Bomba peristáltica, 3. Tobera de doble fluido, 4. Conexión para el H₂O de refrigeración, 5. Conexión para el gas de pulverización comprimido, 6. Sistema automático de limpieza de la boquilla.

Fuente: Mini Spray Dryer B-290 Manual de instrucciones (s.f)

Elaboración: Programa Edraw, Autor

1.3.1. Encapsulantes.

La encapsulación es definida como un método de protección para compuestos activos los cuales son sensibles a condiciones ambientales (Rajabi, Ghorbani, Jafari, Sadeghi, & Rajabzadeh, 2015). Existen diversos tipos de encapsulantes como son:

- ❖ De carácter lipídico están: ceras, ácido esteárico, grasa láctea, lecitinas, monoglicéridos, diglicéridos, parafinas, aceites hidrogenados por ejemplo aceite de palma, algodón y soya; son capaces de cubrir las partículas individuales, logrando una encapsulación uniforme (Yañez, Salazar, Chaires, & Jimenez, 2002).
- ❖ Carbohidratos: son usados preferencialmente en la encapsulación, se emplea la técnica de secado por aspersión para ingredientes alimenticios como soporte de encapsulamiento, dentro de este amplio grupo se encuentran los almidones y gomas. Almidones fundamentados en ingredientes (modificados, maltodextrinas, β -ciclodextrinas) son muy utilizados en la industria alimenticia, dentro de los más importantes sobresale el de maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*), arroz (*Oryza sativa*), yuca (*Manihot esculenta*), papa (*Solanum tuberosum*), e inulina (Parra, 2011).

Cuando en materias altas en azúcares se desea la obtención de un producto en polvo es necesario el uso de un encapsulante como la maltodextrina (Luna et al., 2016). Además la maltodextrina ha demostrado ser un buen encapsulante, evidenciado en estudios como por ejemplo: lo que determinó Rajabi et al. (2015) que en una mezcla de encapsulantes de la cual maltodextrina representa el 94 %, los componentes bioactivos de azafrán fueron encapsulados con mejor eficiencia. La maltodextrina se aplica principalmente en materia prima dura, que es difícil de secar como jugos de frutas, aromatizantes, edulcorantes y para disminuir los problemas de pegajosidad y aglomeración durante el almacenamiento, optimizando así la estabilidad del atomizado (Gabas, Telis, Sobral, & Telis-Romero, 2007).

1.3.2. Variables de secado por aspersión.

El secado por aspersión es un método en el que el resultado depende en gran medida de las propiedades de los compuestos a atomizar, la cantidad de sólidos y encapsulante; demostrado en el estudio de “Influencia del uso de aditivos sobre el rendimiento del proceso de secado por aspersión de extracto acuoso de *Calendula officinalis* L.” realizado por López, Muñoz, Carmona, Torres, & González (2006), en el cual encontraron que existe influencia de la concentración de encapsulante respecto a los sólidos totales del extracto obteniendo mejor rendimiento con una mayor cantidad de encapsulante.

Otros parámetros que influyen en el proceso de secado por aspersión son la temperatura de entrada, capacidad de la bomba (velocidad de alimentación), el flujo de aire de pulverización y el flujo del aspirador los cuales están en un sistema combinado que repercute en el producto (Spray Drying training paper, s.f.), demostrado en el estudio de Influencia de la composición de la emulsión y la temperatura del aire de entrada en la microencapsulación del aceite de linaza por secado por aspersión, realizado por Tonon, Grosso, & Hubinger (2011), en el cual la temperatura de entrada y la cantidad de sólidos fueron analizados influyendo directamente en el atomizado.

Una temperatura de entrada más alta aumenta la temperatura de salida proporcionalmente, lo que reduce la humedad relativa en el gas de secado y por lo tanto del producto, asimismo ofrece un producto más seco que es menos pegajoso y aumenta el rendimiento.

Una mayor velocidad de alimentación o velocidad de la bomba peristáltica, significa más líquido para evaporarse, disminuye la temperatura de salida, aumenta el contenido de humedad en el gas y puede resultar en productos con mayor humedad.

Una mayor concentración de sólidos, significa menos líquido para vaporizar y aumenta la temperatura de salida, resultando más sólidos en una gota y aumenta el tamaño de partícula, las cuales son más fáciles de separar y el rendimiento aumenta. También disminuye la presión parcial del disolvente en el gas y la humedad final del producto disminuye (Mini Spray Dryer B-290 process parameter table, s.f.).

1.4. Compuestos fenólicos.

Constituyen un amplio grupo de sustancias químicas considerados metabolitos secundarios de las plantas, con diferentes estructuras químicas y actividad, englobando más de 8.000 compuestos distintos (Martínez, Periago, & Ros, 2000). Desde un punto de vista químico, los compuestos fenólicos constan de un anillo bencénico que contiene uno o diversos grupos hidroxilo. Según su estructura química, estos compuestos se pueden subdividir en flavonoides o no flavonoides (**Figura 5**), según sean o no derivados de la estructura básica de fluoroglucinol, caracterizada por un esqueleto de 2 anillos bencénicos unidos por una cadena de 3 átomos de carbono ciclada en un heterociclo oxigenado (Valls, Lampreave, Nadal, & Arola, 2000). Generalmente se dividen en muchas clases entre las cuales cuatro son las más estudiadas: ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y lignanos, las dos primeras son las formas más abundantes, que representan uno y dos tercios de todos los compuestos fenólicos, respectivamente. Se pueden separar dos clases de ácidos fenólicos como

derivados de ácidos benzoico y cinámico. Los flavonoides tienen el característico esqueleto de carbono C6-C3-C6 y se pueden dividir en cuatro grupos como flavonoles, flavanas, flavanonas y flavanoles. Los flavonoles son los flavonoides más abundantes en frutas y verduras, y las principales estructuras características son quercetina y kaempferol (Karaçelik et al., 2015).

Su forma más frecuente es la de polímeros o lignina soluble, mientras que su presencia en los tejidos animales está relacionada con el consumo e ingestión de alimentos vegetales. La actividad antioxidante de los alimentos con compuestos fenólicos beneficia a la salud del ser humano (Martínez et al., 2000; Muñoz, Copaja, Speisky, Peña, & Montenegro, 2007), pues se asocia con un papel protector en las enfermedades cardiovasculares y en el cáncer así como en procesos de envejecimiento. Cabe mencionar que la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos tiene interés desde un punto de vista tecnológico y nutricional debido a que intervienen como antioxidantes naturales de los alimentos por lo que la preparación de alimentos con estos supone una reducción en el uso de aditivos antioxidantes, a la vez que se obtienen alimentos más saludables (Martínez et al., 2000).

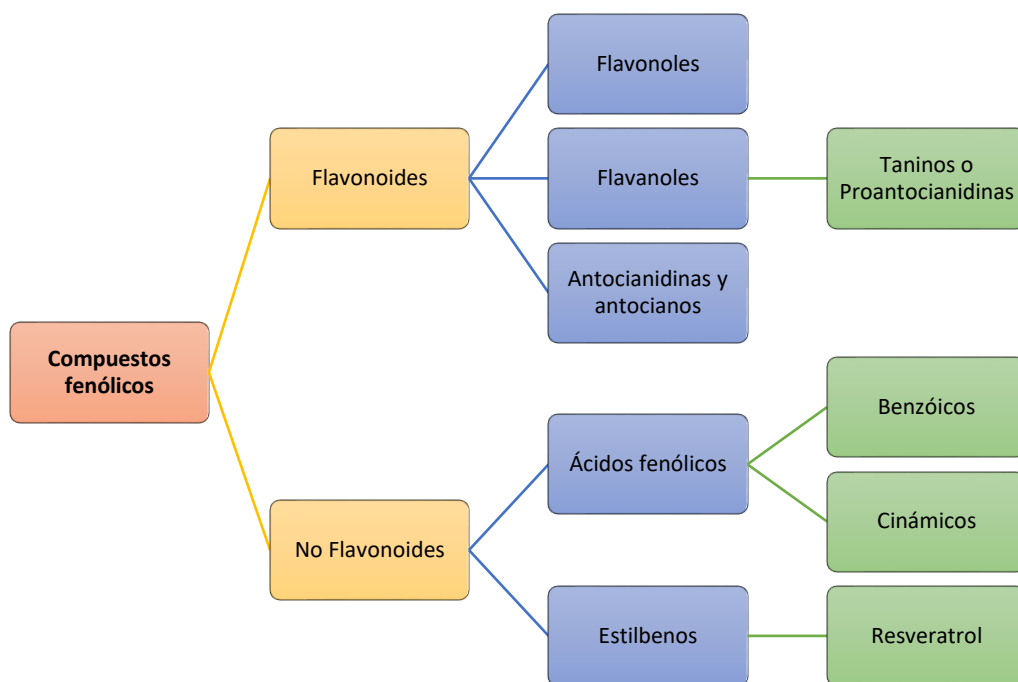


Figura 5: Clasificación de los compuestos fenólicos

Fuente: Valls et al. (2000)

Elaboración: Autor

1.5. Antioxidantes y radicales libres.

Las especies de oxígeno reactivas son una clase entera de moléculas altamente reactivas derivadas del metabolismo del oxígeno que incluyen radicales superóxido, radicales hidroxilo y peróxido de hidrógeno, a menudo se generan como subproductos de reacciones biológicas o de factores exógenos. In vivo, algunas de estas especies oxígeno reactivas juegan papeles positivos en la fisiología celular, sin embargo, también pueden causar un gran daño a las membranas celulares y ADN, induciendo oxidación que causa peroxidación de lípidos de membrana, disminución de la fluidez de la membrana y mutaciones del ADN que conducen a cáncer, enfermedades degenerativas y otras (Aqil, Ahmad, & Mehmood, 2006).

La prevención del cáncer, y la posible reversión de enfermedades de corazón ocasionado por los fitoquímicos presentes en las frutas y hortalizas, se discute generalmente con respecto al supuesto efecto antioxidante traído por una exuberancia de compuestos antioxidantes presentes en los alimentos vegetales. Esta información ha sido corroborada con frecuencia por evidencias epidemiológica y estadística de disminución del riesgo relativo de varias enfermedades. Estudios en animales y en vitro de fitoquímicos específicos a menudo han apoyado esta visión (Forman, Davies, & Ursini, 2014; Karaçelik et al., 2015).

Los electrófilos son moléculas que toman electrones de otras moléculas, llamadas nucleófilos. Entre estas moléculas los oxidantes son electrófilos que toman uno o dos electrones de un nucleófilo sin formar un aducto. Mientras que los reductores son nucleófilos que dan uno o dos electrones a un oxidante, sin formar un aducto. La transferencia de electrones en oxidaciones y reducciones puede implicar un átomo de hidrógeno en reacciones de un electrón o un hidruro en dos reacciones electrónicas; químicamente los antioxidantes son reductores nucleofílicos que reaccionan directamente con los oxidantes, evitando así la oxidación de una tercera molécula. De acuerdo con esto, el efecto antioxidante se obtiene reduciendo por un solo electrón (habitualmente donando un H), o evitando la formación del radical hidroxilo o alcoxi de iniciación (reduciendo el hidroperóxido, del cual se inicia el iniciador radical, a un alcohol). Los antioxidantes utilizados en la química de los polímeros o la conservación de los alimentos (compuestos fenólicos e hidroperóxidos reductores) son ejemplos de la interacción entre estos mecanismos complementarios (Forman et al., 2014).

1.6. Determinación de fenoles totales y capacidad antioxidante.

Como antioxidantes, los compuestos fenólicos protegen las células contra el daño oxidativo previniendo el riesgo de enfermedades degenerativas causadas por los radicales libres (Marina et al., 2008), uno de los métodos más usado para determinar el contenido de fenoles totales es el de Folin-Ciocalteu que cuantifica el poder reductor de los compuestos fenólicos (Tonon et al., 2011).

En la investigación de antioxidantes, ningún método de prueba individual puede determinar el poder antioxidante real de una muestra debido a que los métodos difieren en las estrategias de reacción y su sensibilidad a las condiciones de ensayo. Es por esto que la determinación de los compuestos activos de las plantas y productos alimenticios requiere un trabajo de extracción e identificación basado en diversas metodologías. Existen diferentes métodos para evaluar la capacidad antioxidante en alimentos y plantas, es así que los que se utiliza comúnmente son: el barrido de radicales ABTS (2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)), además de depuración de radicales DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) (Karaçelik et al., 2015), y el ensayo ferro-reductor FRAP (parámetro antioxidante reductor de iones férricos) (Huang, Boxin, & Prior, 2005).

1.6.1. Fenoles totales.

El ensayo mediado por el reactivo Folin-Ciocalteu es generalmente usado para determinar los compuestos fenólicos en productos naturales (Slinkard & Singleton, 1977), los compuestos fenólicos reaccionan con el reactivo en condiciones básicas, ajustado por una solución de carbonato de sodio. La disociación de un protón fenólico conduce a un anión fenolato, que es capaz de reducir el Folin-Ciocalteu, esto apoya la idea de que la reacción se produce a través del mecanismo de transferencia de electrones. Los compuestos azules formados entre fenolato y el reactivo Folin-Ciocalteu son independientes de la estructura del compuesto fenólico de interés. A pesar de la naturaleza química indefinida del reactivo Folin-Ciocalteu, el ensayo de fenoles totales es conveniente, simple y reproducible (Huang et al., 2005).

1.6.2. FRAP.

El ensayo FRAP o parámetro antioxidante reductor de iones férricos (Huang et al., 2005) se basa en la capacidad de los compuestos fenólicos para reducir $\text{Fe} (3+) - (\text{TPTZ})_2$ a $\text{Fe} (2+) -$

(TPTZ)₂. Cuando la reducción del complejo TPTZ (2,4,6-tripiridil-s-triazina) ocurre, se acompaña de la formación de un complejo azulado entre mayor sea este cambio, existirá mayor presencia de antioxidantes. El ensayo FRAP aprovecha las reacciones de transferencia de electrones (Huang et al., 2005; Roginsky & Lissi, 2005).

1.6.3. ABTS.

La técnica para la generación de ABTS (2,2'-azino-bis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico)) (Karaçelik et al., 2015) implica la producción directa del cromóforo ABTS azul/verde a través de la reacción entre ABTS y persulfato de potasio. Esto tiene sus máximos de absorción a longitud de onda a 734 nm. La adición de antioxidantes al catión radical preformado reduce ABTS, dependiendo de la actividad antioxidante, concentración del antioxidante y de la duración de la reacción. El catión radical se calcula en relación con la reactividad de trolox como patrón, en las mismas condiciones. Esta técnica es aplicable al estudio de antioxidantes solubles en H₂O, liposolubles, compuestos puros y extractos de alimentos (Re et al., 1999).

1.6.4. DPPH.

DPPH o 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (Karaçelik et al., 2015) es uno de los pocos radicales de nitrógeno orgánico estable y comercialmente disponible y tiene un máximo de absorción a 515 nm. Mientras haya más reducción con la presencia de antioxidantes, el color de la solución se desvanece; el progreso de la reacción se controla convenientemente mediante un espectrofotómetro (Huang et al., 2005).

Éste es el método indirecto más antiguo para determinar actividad antioxidante, fue sugerido en los años 50 para descubrir donadores de hidrógeno en materiales naturales. La prueba se basa en la capacidad del 2,2-difenil-1-picrilhidracil libre estable de radicales libres para reaccionar con donadores de hidrógeno, incluyendo fenoles. Como DPPH muestra una absorción muy intensa en la región visible, se puede determinar fácilmente mediante espectrofotometría ultravioleta-visible (Roginsky & Lissi, 2005).

2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1. General:

- ❖ Determinar el rendimiento de los atomizados de extracto de subproducto de *Tamarindus indica* L. y valorar la bioactividad in vitro de los compuestos fenólicos encapsulados.

2.2. Específicos:

- ❖ Atomizar compuestos fenólicos obtenidos de las fibras del mesocarpio del fruto de *Tamarindus indica* L.
- ❖ Determinar el rendimiento de los atomizados.
- ❖ Evaluar los compuestos fenólicos y actividad antioxidante presentes en los atomizados.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales, reactivos y equipos utilizados

3.1.1. Materia prima

❖ Fruto de *Tamarindus indica* L. proveniente de la ciudad peruana Sullana

3.1.2. Reactivos.

Maltodextrina, H₂O, metanol, acetona, ácido clorhídrico 37%, reactivo Folin-Ciocalteu Sigma, carbonato de sodio Sigma, acetato de sodio tri-hidratado Sigma, ácido acético (glacial) 100%, Ácido gálico Sigma, cloruro de hierro (III) hexahidratado 97% Sigma, TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-striazine) ≥ 98% Sigma, Trolox (±-6-Hydroxy-2,5,7,8,-tetra-methylchromane-2-carboxylic acid) 97% Sigma, DPPH (2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) Sigma, ABTS (2, 2'-Azino-bis (3ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) ≥ 98% Sigma.

3.2. Preparación de la materia prima.

El subproducto de *Tamarindus indica* L. (fibras ubicadas en el mesocarpio del fruto), fue separado del fruto y se determinó el rendimiento en base al peso total del fruto, luego se cortó en pedazos de 2 cm aproximadamente (**Figura 6**) y se procedió a realizar el extracto.



Figura 6: a) Fibra del mesocarpio, b) Fibra cortada 2 cm aproximadamente

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

3.2.1. Obtención del extracto

Se obtuvo mediante maceración dinámica en H₂O, con ayuda del quipo Baño María Precisión Scientific a una temperatura de 20 °C, con una relación muestra-solvente de 5 g/150 mL por 90 minutos, luego se centrifugó y filtró para obtener el extracto que fue utilizado para todos los atomizados.

3.3. Sólidos solubles

La cuantificación de sólidos solubles al extracto se realizó de acuerdo a la norma 31.011 AOAC (1980) con el refractómetro portátil 30PX, calibrado previamente con H₂O destilada y los resultados están expresados en °Brix.

3.4. Acidez

Se determinó la acidez del extracto según la norma 9.119 AOAC (1980) con ayuda de equipo Mettler Toledo DL15 Titrator, usado con hidróxido de sodio de normalidad real previamente determinada en 0.017. La acidez se expresó como porcentaje de ácido tartárico pues es el ácido mayoritario del tamarindo (Gonzalez Palomares, 2009), y se calculó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Acidéz} = \frac{\text{Volumen gastado de NaOH} \times 0.017 \times 75.05 \text{ g/mol} \times 100}{\text{Volumen o Peso de muestra} \times 1000}$$

3.5. Sólidos totales.

Los sólidos totales del extracto se determinaron basándose en el método 33.041 de AOAC (1980), con ayuda de una estufa de tiro forzado Cole Parmer, se homogenizó el extracto acuoso y se pipeteó 10 mL en un recipiente previamente secado y pesado, luego se evaporó a sequedad a un calor constante de 100 °C, se colocó en el desecador y se procedió a pesar.

$$\% \text{ Sólidos Totales} = \frac{(\text{Extracto seco}) \times 100}{\text{Extracto}}$$

3.6. pH.

Se midió directamente el pH al extracto, mediante el método 10.035 de AOAC (1980), con el potenciómetro Mettler Toledo S20 SevenEasy.

3.7. Obtención del atomizado

Para el proceso de atomización (**Figura 7**), se utilizó el equipo Spray Drier Büchi B-290, considerando las siguientes variables: temperatura de entrada 140°C, 155°C, 170°C, flujo de entrada 20%, 30%, 40 % de la capacidad de la bomba peristáltica y porcentaje de sólidos 5%, 7.5% y 10%. Se decidió trabajar con sólidos solubles, en lugar de sólidos totales, ya que no hubo diferencia entre estos valores como se puede observar en la tabla 3. En este proceso se consideró al encapsulante (maltodextrina), flujo de gas pulverizado: 30 mm equivalente a 357 L/h y volumen de extracto: 150 mL como parámetros constantes.

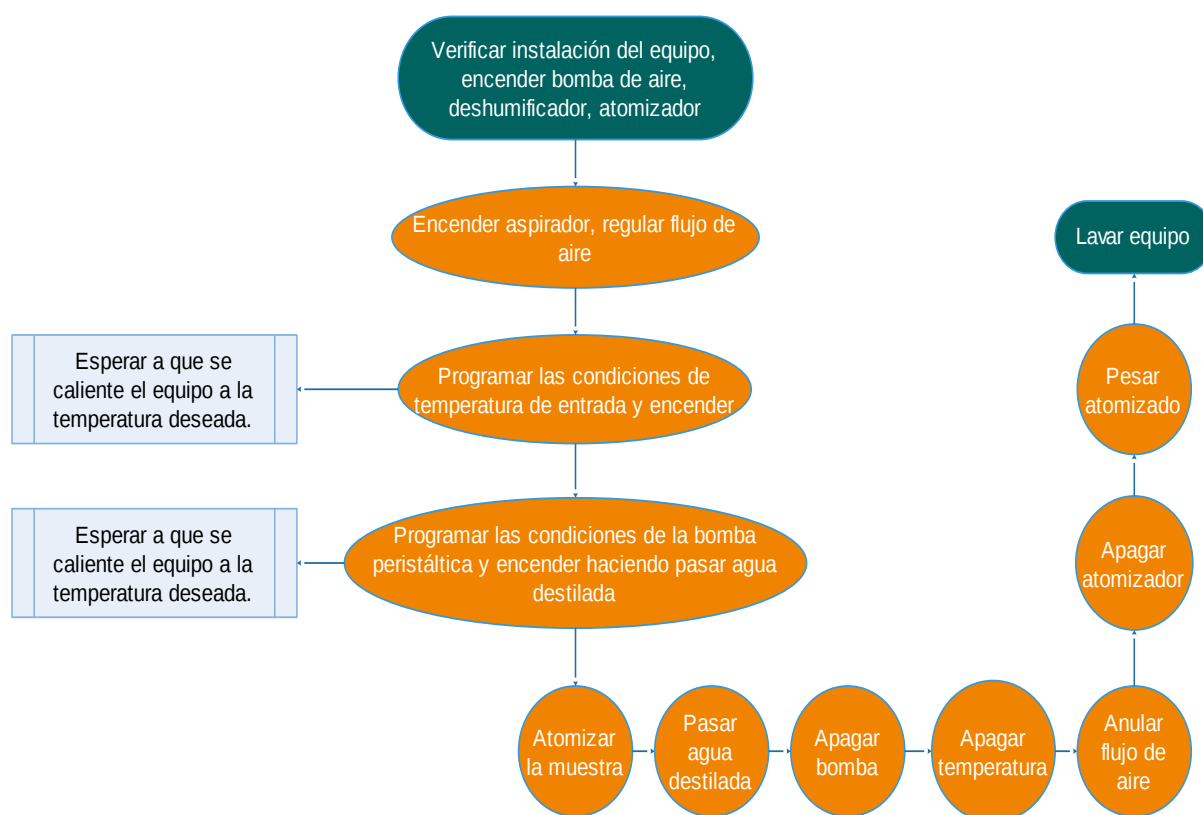


Figura 7: Proceso de atomización

Fuente: Programa Edraw

Elaboración: Autor

3.7.1. Rendimiento de los atomizados

El rendimiento de cada uno de los atomizados se lo calculó en base al peso, con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = [\text{Atomizado} / (\text{Sólidos totales del extracto} + \text{maltodextrina})] \times 100 \%$$

3.7.2. Diseño estadístico

Se usó un diseño estadístico factorial con posterior análisis de superficie de respuesta, utilizando el programa Statgraphics Centurion XVI.I, dando un total de 27 combinaciones experimentales (**Tabla 1**), siendo la variable respuesta el rendimiento, cada una de las experimentaciones fue ejecutada por triplicado.

Tabla 1: Variables de los atomizados.

Experimentación	Temperatura °C	Flujo de entrada % Bomba	Sólidos solubles %
1	140	20	10
2	140	40	10
3	170	40	5
4	170	40	7.5
5	155	40	7.5
6	140	40	5
7	155	40	10
8	140	20	7.5
9	140	30	10
10	140	30	5
11	170	30	10
12	155	20	10
13	170	30	7.5
14	170	20	7.5
15	155	40	5
16	170	40	10
17	170	30	5
18	155	30	10
19	155	20	5
20	155	30	5
21	140	40	7.5
22	155	20	7.5
23	170	20	10
24	170	20	5
25	155	30	7.5
26	140	30	7.5
27	140	20	5

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Elaboración: Autor

3.8. Flujo de la bomba peristáltica

Para expresar la capacidad de la bomba en mL/h, se tomó en cuenta el tiempo que demora la bomba peristáltica en pasar 100 mL de extracto con maltodextrina. Por lo tanto en 20% de capacidad de la bomba el flujo medido fue 417.32 mL/h, en 30 %, 600.77 mL/h y en 40 %, 787.69 mL/h; los cálculos se encuentran en el **Anexo A**.

3.9. Reconstitución de los atomizados

Posteriormente a la obtención de los 81 atomizados, se los reconstituyó (**Anexo B**) con H₂O destilada en una concentración igual a la cantidad original de sólidos utilizados en el atomizador, es decir, 5 %, 7.5 % y 10 %; esto para analizar su capacidad antioxidante y fenoles totales.

3.10. Cuantificación de fenoles totales y capacidad antioxidante.

Se realizó al extracto y a los 81 atomizados reconstituidos usando los siguientes métodos:

3.10.1. Fenoles totales

Se colocaron 150 uL de muestra, 2400 uL de H₂O, y 150 uL de 0.25 N Folin–Ciocalteu mezclados en un vial. Se dejó reaccionar por 3 min y posteriormente se agregó 300 uL 1N Na₂CO₃. La solución se incubó a temperatura ambiente por 2 horas, la absorbancia fue medida a 725 nm usando el espectrofotómetro visible 6400 Jenway. Los resultados están expresados en equivalentes de ácido gálico (mg EAG/100 g) usando una curva estándar de ácido gálico (0 – 0.1 mg/mL) (Thaipong et al., 2006).

3.10.2. FRAP

La solución madre incluye 300 mM de buffer acetato (3.1 g C₂H₃NaO₂·3H₂O y 16 mL C₂H₄O₂), y una solución 10 mM TPTZ preparada en 40 mM HCl, y una solución 20 mM FeCl₃·6H₂O. La solución de trabajo es preparada mezclando 25 mL de buffer acetato, 2.5 mL de la solución de TPTZ y 2.5 mL FeCl₃·6H₂O calentado a 37°C antes del uso. 150 uL de muestra son

combinados con 2850 μL de la solución de trabajo dejándolos reaccionar por 30 minutos en la oscuridad. Posteriormente se lee a 593 nm en el espectrofotómetro. La curva estándar se usó en un rango de 25 y 800 μM Trolox. Los resultados se expresaron en equivalentes de Trolox (TE)/g de masa fresca (Thaipong et al., 2006).

3.10.3. ABTS

Para el presente método se realizó según Thaipong, Boonprakob, Crosby, Cisneros-Zevallos, & Hawkins Byrne (2006) con una leve modificación en lugar de reconstituir con metanol la solución de trabajo, se lo realizó con H_2O , las soluciones madre incluyen solución de ABTS 7.4 mM y solución de persulfato de potasio de 2.6 mM. La solución de trabajo se prepara mezclando las dos soluciones madre en cantidades iguales y dejándolas reaccionar durante 12 horas a temperatura ambiente en la oscuridad. La solución se diluyó mezclando 1 mL de solución de ABTS con H_2O para obtener una absorbancia de 1.1 unidades a 734 nm usando el espectrofotómetro visible 6400 Jenway. La muestra se dejó reaccionar con 2850 μL de la solución de trabajo de ABTS durante 2 horas en oscuridad. Seguidamente se midió la absorbancia a 734 nm usando el espectrofotómetro. La curva estándar se elaboró entre 25 y 600 μM trolox y los resultados están expresados en equivalentes de trolox (ET)/100 g de masa fresca.

3.10.4. DPPH

La solución madre se preparó mezclando 24 mg de DPPH con 100 mL de metanol. La solución de trabajo se obtuvo mezclando 10 mL de solución madre con 45 mL de metanol, y ajustado a una absorbancia de 1.1 unidades usando el espectrofotómetro visible 6400 Jenway a 515 nm. 150 μL de muestra se dejaron reaccionar con 2850 μL de solución de trabajo por 24 horas en la oscuridad. La curva estándar se usó en un rango de 25 y 800 μM Trolox. Previo al análisis en el espectrofotómetro se procedió a filtrar el contenido de cada uno de los viales. Los resultados están expresados en equivalentes de trolox (ET)/g de masa fresca (Thaipong et al., 2006).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Rendimiento de la materia prima y características de su extracto.

El rendimiento de la fibra del mesocarpio del fruto de tamarindo fue de 2.37 % respecto del peso total del fruto de tamarindo (**Tabla 2**), mientras que para fines comparativos, se sumó el peso de la cáscara y la fibra del tamarindo obteniendo un rendimiento de 29.25 %, valor que es similar al reportado por Tirado, Acevedo, Montero, & Consulado (2014) de entre el 11 % al 30 %.

Tabla 2: Rendimiento de las partes del fruto de *Tamarindus indica* L.

Parte del fruto	Kg	Rendimiento %
Pulpa y semilla	41.75	70.75
Cáscara	15.86	26.88
Fibra del mesocarpio	1.40	2.37
TOTAL	59.01	100.00

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Características del extracto obtenido a partir de las fibras en comparación con el extracto de la pulpa se pueden observar en la **Tabla 3** denotándose que son similares; la fibra de tamarindo posee un poco más de sólidos totales pero menos cantidad de sólidos solubles que la pulpa, esto se debe a una mayor presencia azúcares. En cuanto a la acidez de la pulpa “FRUINSA S.A.S. Frutas Industriales de Santander - Pulpa de Tamarindo” (2005) reportó un valor de 1.6 ± 0.5 %, el cual es mayor al de los extractos de la **Tabla 3** porque los mismos fueron el resultado de una dilución. En cuanto al pH, Gonzalez Palomares (2009) alcanzó un valor de 3.0 en la pulpa, el cual es más ácido que los extractos presentados debido al efecto de la concentración.

Tabla 3: Sólidos totales, acidez (**Anexo C**), pH y °Brix del extracto y extracto de la pulpa.

Extractos	Sólidos %	% Acidez	pH	Sólidos solubles (°Brix)
Fibra del mesocarpio en H ₂ O	1.78 ± 0.12	0.25 ± 0.01	3.96	1.8
Pulpa de tamarindo	1.76 ± 0.12	0.30 ± 0.01	3.26	2.2

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

4.2. Atomizados

4.2.1. Rendimiento de los atomizados

El rendimiento porcentual (**Anexo C**) de los atomizados se basa en el peso del polvo obtenido tras el proceso de secado por aspersión, respecto de la cantidad de sólidos ingresados (Gu, Linehan, & Tseng, 2015). El rendimiento más alto, de los 27 experimentos, fue 71.81 %

utilizando las siguientes condiciones: 20 % de la capacidad de la bomba, 7.5 % de sólidos y 170 °C (**Tabla 4**). El valor obtenido se lo puede considerar alto ya que dentro de las especificaciones del equipo de secado por aspersión, el fabricante estima un rendimiento máximo alrededor del 70 % (Büchi Switzerland, s.f.). Un rendimiento mayor al especificado, utilizando también el equipo Spray Dryer Büchi B-290, fue obtenido por Arrazola et al. (2014) con un rendimiento del 90.74 % trabajando a una temperatura de 180 °C y maltodextrina 30 %, asimismo Bakowska-Barczak & Kolodziejczyk (2011) obtuvieron su mejor rendimiento de 86 % a una temperatura de 150 °C y 35 °Brix.

Tabla 4: Valores promedio de rendimiento en respuesta a las variables de estudio: flujo, sólidos, temperatura de entrada

Atomizado	Flujo (% bomba)	Sólidos (%)	Temperatura de entrada (°C)	Rendimiento Promedio (%)
1	20	10	140	69.78 ± 0.08
2	40	10	140	43.52 ± 0.10
3	40	5	170	60.70 ± 0.18
4	40	7.5	170	55.00 ± 0.10
5	40	7.5	155	59.84 ± 0.19
6	40	5	140	43.16 ± 0.12
7	40	10	155	53.02 ± 0.13
8	20	7.5	140	68.03 ± 0.19
9	30	10	140	54.85 ± 0.12
10	30	5	140	62.70 ± 0.08
11	30	10	170	58.71 ± 0.09
12	20	10	155	67.44 ± 0.11
13	30	7.5	170	63.76 ± 0.17
14	20	7.5	170	71.81 ± 0.09
15	40	5	155	53.44 ± 0.19
16	40	10	170	50.80 ± 0.08
17	30	5	170	67.25 ± 0.12
18	30	10	155	58.61 ± 0.07
19	20	5	155	68.59 ± 0.19
20	30	5	155	64.93 ± 0.12
21	40	7.5	140	51.15 ± 0.17
22	20	7.5	155	64.63 ± 0.13
23	20	10	170	68.22 ± 0.08
24	20	5	170	69.01 ± 0.07
25	30	7.5	155	67.52 ± 0.13
26	30	7.5	140	66.79 ± 0.08
27	20	5	140	70.18 ± 0.11

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

4.2.2. Efecto del flujo, temperatura, y sólidos en el rendimiento.

De acuerdo al diagrama de Pareto (**Figura 8**) elaborado con los datos de la **Tabla 4**, las variables que influyeron significativamente en el rendimiento fueron: (i) disminución en el flujo lo cual incrementa el rendimiento; esto fue observado también por Tee, Chuah, Rashih, &

Yusof (2012) en su estudio de *Piper betle* L. y por Tonon, Brabet, & Hubinger (2008) en su estudio de *Euterpe oleraceae* Mart. (**Tabla 5**). A flujos altos la transferencia de masa y calor es más lenta, ya que la velocidad de alimentación más alta reduce la temperatura dentro del secador por pulverización, y las partículas se vuelven pegajosas habiendo pérdidas de rendimiento por adherencia (LeClair, Cranston, Xing, & Thompson, 2016; Tonon et al., 2008); (ii) incremento en la temperatura, determinado también por Arrazola et al. (2014) en su estudio de *Solanum melongena* L. y por Santhalakshmy, Don Bosco, Francis, & Sabeena (2015) en su estudio de *Syzygium cumini* L. (**Tabla 5**), esto se debe a que la eficiencia de los procesos de transferencia de calor y masa es mejor a temperaturas de entrada más altas (Lee, Yoon, Li, & Eun, 2016); (iii) menor porcentaje de sólidos totales, determinado también por Muzaffar & Kumar (2015) en su estudio realizado en la pulpa de *Tamarindus indica* L. (**Tabla 5**) y Chasekioglou, Goula, Adamopoulos, & Lazarides (2017) en su estudio realizado en aguas residuales de almazaras, lo antes mencionado se explica porque al aumentar la cantidad de maltodextrina se produce un aumento en el grosor del material de la pared, por lo que se secará más lentamente que una cantidad más baja a la misma temperatura (Laokuldilok & Kanha, 2015); (iv) y en menor medida la combinación de un mayor flujo y temperatura, según LeClair et al. (2016) está combinación no es viable pues se ha demostrado que en el máximo alcance para estas condiciones, la temperatura desciende y la humedad de las partículas se eleva, lo que provoca una alta adherencia de partículas y consecuentemente la pérdida del rendimiento.

Tabla 5: Condiciones experimentales de secado por aspersión, realizado por diferentes autores para obtener el mejor rendimiento.

Autores	Condiciones			Mejore respuestas			
	T _o (°C)	F (%)	S (%)	R (%)	T (°C)	F (%)	S (%)
Tee et al. (2012), <i>Piper betle</i> L.	120 – 160	≈ 20 – 60	≈ 15 (10 °Brix + 5 % maltodextrina)	≈ 70.2	159.52	≈ 42	≈ 15
Tonon et al. (2008), <i>Euterpe oleraceae</i> Mart.	138 - 202	≈ 20 – 100	≈ 10 – 30 (maltodextrina)	48.49	202	≈ 60	≈ 20
Arrazola et al. (2014), <i>Solanum melongena</i> L.	170 – 180	–	≈ 15 – 30 (maltodextrina)	90.74	180	–	≈ 30
Santhalakshmy et al. (2015), <i>Syzygium cumini</i> L.	130 – 170	≈ 40	14	8.25	150	≈ 40	14
Muzaffar & Kumar (2015), <i>Tamarindus indica</i> L.	150 – 170	≈ 27 – 40	15 – 25	56.35	170	≈ 27	25

Fuente: Autor, las unidades fueron adaptadas (≈) basándose en el instructivo Büchi Labortechnik AG (2002) del secador por aspersión. T_o= Temperatura de entrada, F = Flujo, S = Sólidos, R = Rendimiento.

Elaboración: Autor

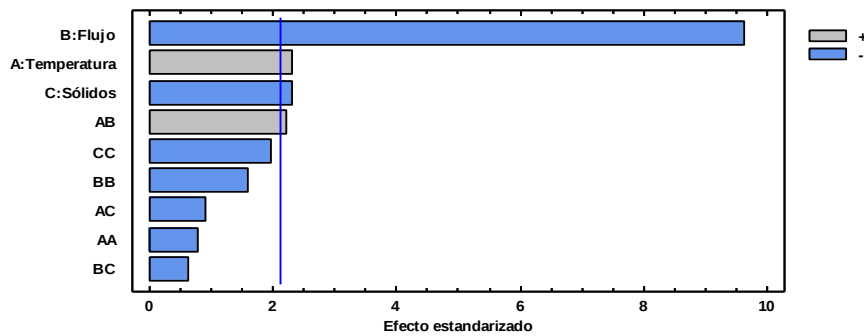


Figura 8: Diagrama de Pareto para rendimiento

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Elaboración: Autor

De acuerdo al gráfico de superficie de respuesta (**Figura 9**) realizado con los datos experimentales (**tabla 4**) se observa que el flujo es la variable que más afecta el rendimiento, manifestando un buen rendimiento entre -1 (20 %) y - 0.2 (28 %) y presentándose una disminución en flujos mayores.

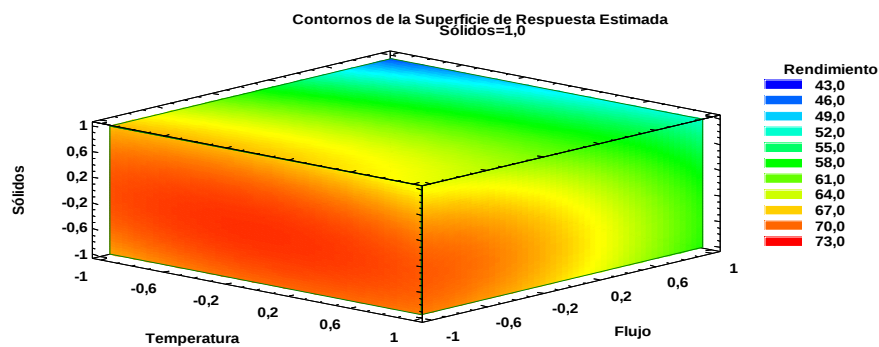


Figura 9: Superficie de respuesta estimada para rendimiento.

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Elaboración: Autor

4.2.3. Optimización del Rendimiento

De acuerdo a la **Tabla 6** obtenida mediante el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.I, los valores óptimos de las variables para maximizar el rendimiento a un valor estimado de 71.48 % son: temperatura de entrada 154.05 °C, sólidos: 6.96 % y flujo de bomba peristáltica: 20 % (417 ± 8 mL/h). El valor óptimo de temperatura de entrada, y cantidad de sólidos se encuentra dentro de los límites estudiados 140 °C – 170 °C y 5 % - 10 % respectivamente, pero no el flujo, sin embargo no se procedió a realizar una optimización de esta variable ya que al descender a valores inferiores a 20% no sería viable porque se ha evidenciado que el rendimiento disminuye a tasas de alimentación bajas, debido a la adherencia de partículas al equipo de atomización (diseñado con material de vidrio), ya que hay menos líquido para la evaporación dentro de la cámara de secado, lo que eleva las

temperaturas dentro de la cámara y ciclón del atomizador, dando como resultado más partículas sueltas y adheridas, debido a la temperatura de transición del material de diseño del atomizador (vidrio) a la partícula (LeClair et al., 2016). Muzaffar & Kumar (2015) en su trabajo “Optimización de parámetros para el secado por aspersión de pulpa de tamarindo utilizando la metodología de superficie de respuesta” obtuvieron la optimización de su rendimiento con un flujo de 400 mL/h, siendo el rendimiento de 56.35 %, y su segundo mejor rendimiento (54.25 %) lo obtuvieron con flujo de 465 mL/h, esto como resultado de experimentar con flujos entre 400 y 600 mL/h. También se evidenció en el trabajo de Tee et al. (2012) quien consiguió la optimización de sus parámetros con un flujo de alimentación de 630 mL/h, habiendo probado con flujos entre 300 y 900 mL/h. Con estos estudios se evidencia que hay un mejor rendimiento con flujos superiores o muy cercanos al 20 % (417 mL/h) determinado en el presente estudio.

La ecuación de regresión para los valores experimentales de rendimiento con un nivel predictivo del 80.55 % determinado por R-cuadrada ajustada por grados de libertad, fue obtenida mediante el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.I y es:

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} = & 65.49 + 1.95^{\text{Temperatura}} - 8.17 \times \text{Flujo} - 1.95 \times \text{Sólidos} - 1.15 \\ & \times \text{Temperatura}^2 + 2.30 \times \text{Temperatura} \times \text{Flujo} - 0.95 \times \text{Temperatura} \\ & \times \text{Sólidos} - 2.33 \times \text{Flujo} \times \text{Sólidos} - 2.90 \times \text{Sólidos}^2 \end{aligned}$$

El valor más alto de rendimiento que se logró obtener experimentalmente fue 71.81 % (**Tabla 4**) mientras que el valor óptimo fue de 71.48 % (**Tabla 6**), el cual es relativamente más bajo porque la optimización se obtiene de los valores predichos por la ecuación de rendimiento, la misma que se ajusta a los datos de todas las experimentaciones para así tener un valor más significativo. Sometiendo las variables con las que se obtuvo 71.81 % de rendimiento a la ecuación de regresión dio como resultado un valor de 69.83 % el cual es inferior al hallado a través de la optimización (71.48 %). Lo antes expuesto se pone en evidencia en el trabajo de Gu, Linehan, & Tseng (2015) quienes experimentalmente obtuvieron 89.05 % de rendimiento de atomizado pero tras el proceso analítico de optimización reportaron 87.91 %; también en el trabajo de Muzaffar & Kumar (2015) los cuales experimentalmente obtuvieron un valor de 59.60 % de rendimiento de atomizado pero con la optimización de sus variables reportaron un valor de 56.35 %.

Tabla 6: Optimización del rendimiento (71.48 %)

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (°C)	140	170	154.05
Flujo (% bomba)	20	40	20.00
Sólidos (%)	5	7.5	6.96

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Elaboración: Autor

4.3. Efecto de las variables sobre fenoles totales y capacidad antioxidante de los atomizados

Como se observa en los diagramas de Pareto (**Figuras 10, 11**) realizadas a partir de los datos experimentales de la **Tabla 7**, la variable que mayor influencia tiene es la concentración de sólidos, revelando que disminuyendo la cantidad de maltodextrina agregada, existe una mayor cantidad de fenoles totales y actividad antioxidante por gramo de atomizado (**Anexo E**). Mishra, Mishra, & Mahanta (2014) explican que se debe al efecto de la concentración, ya que en su estudio de secado por aspersión con *Emblica officinalis* usaron maltodextrina en un rango del 5 – 9 % y temperaturas entre 125 – 200 °C obteniendo un mayor contenido de fenoles al 5% de maltodextrina. Arrazola et al. (2014) en su trabajo de microencapsulación de antocianinas de *Solanum melongena* L. y capacidad antioxidante, obtuvieron también que los tratamientos con menor porcentaje de maltodextrina (15 %) presentaron mayor capacidad antioxidante trabajando con concentraciones de sólidos entre 15 % y 30 %.

En los atomizados (**Tabla 7**), el mayor contenido de fenoles totales fue de 178.94 mg EAG/100 g superior al obtenido por Flores, Singh, Kerr, Pegg, & Kong (2014) en su trabajo de atomización de mortiño, cuyo valor más alto fue de 87 mg EAG/100 g, se obtuvo un menor contenido de fenoles totales al encontrado por Forero, Carriazo, & Osorio (2016) en la nuez pacana con 590.78 mg EAG/100 g. En el método FRAP se obtuvo el valor más alto de 10.03 $\mu\text{M ET/g}$; Saikia, Mahnot, & Mahanta (2015) en su trabajo de secado por aspersión de diferentes frutos, en sandía y piña obtuvieron valores inferiores con 0.18 $\mu\text{M ET/g}$ y 6.28 $\mu\text{M ET/g}$ respectivamente, mientras que para naranja registraron un valor de 15.38 $\mu\text{M ET/g}$ que es más alto que el del presente estudio. En el método ABTS se obtuvo el valor más alto de 6.65 $\mu\text{M ET/100 g}$ inferior al atomizado de Şahin-Nadeem, Dinçer, Torun, Topuz, & Özdemir (2013) en su trabajo de atomización de sage con 209 $\mu\text{M ET/100 g}$. El método DPPH tuvo su valor más alto con 7.22 $\mu\text{M ET/g}$ superior al encontrado por Forero, Carriazo, & Osorio (2016) en atomizados de naranjilla que fue de 0.51 $\mu\text{M ET/g}$, un valor más alto de DPPH (12.11 $\mu\text{M ET/g}$) fue hallado en nuez pacana por do Prado et al. (2014).

Tabla 7: Valores promedio de los métodos: Folin-Ciocalteu (Fenoles totales), FRAP, ABTS, DPPH; en respuesta a las variables de estudio: flujo, sólidos, temperatura de entrada (**Anexo E**).

Atomizado	Flujo (% bomba)	Sólidos (%)	Temperatura de entrada (°C)	FENOLES (mg EAG/100 g atomizado)	FRAP (μM ET/g atomizado)	ABTS (μM ET/100 g atomizado)	DPPH (μM ET/g atomizado)
1	20	10	140	74.67 ± 0.71	3.81 ± 0.02	3.34 ± 0.02	3.09 ± 0.08
2	40	10	140	74.81 ± 0.73	3.52 ± 0.02	2.89 ± 0.02	2.58 ± 0.08
3	40	5	170	130.96 ± 0.81	7.29 ± 0.05	5.70 ± 0.04	2.99 ± 0.17
4	40	7.5	170	105.87 ± 0.83	6.13 ± 0.04	4.84 ± 0.02	4.92 ± 0.11
5	40	7.5	155	102.26 ± 3.38	5.79 ± 0.05	4.60 ± 0.03	1.97 ± 0.13
6	40	5	140	129.74 ± 1.46	7.40 ± 0.05	6.31 ± 0.04	7.22 ± 0.18
7	40	10	155	79.81 ± 0.62	4.37 ± 0.03	3.78 ± 0.02	3.46 ± 0.11
8	20	7.5	140	102.08 ± 0.95	5.94 ± 0.02	5.25 ± 0.07	4.52 ± 0.15
9	30	10	140	75.95 ± 0.62	4.18 ± 0.04	3.77 ± 0.01	3.16 ± 0.05
10	30	5	140	134.20 ± 0.70	7.10 ± 0.04	6.65 ± 0.11	5.61 ± 0.18
11	30	10	170	72.58 ± 0.61	3.81 ± 0.01	3.82 ± 0.05	3.36 ± 0.11
12	20	10	155	75.68 ± 0.71	3.52 ± 0.01	3.65 ± 0.05	3.30 ± 0.09
13	30	7.5	170	100.64 ± 0.87	6.49 ± 0.01	4.32 ± 0.02	4.59 ± 0.12
14	20	7.5	170	106.32 ± 0.95	6.36 ± 0.01	4.34 ± 0.03	4.41 ± 0.12
15	40	5	155	141.10 ± 1.40	10.03 ± 0.02	5.87 ± 0.01	6.59 ± 0.17
16	40	10	170	80.68 ± 0.61	5.49 ± 0.01	3.51 ± 0.01	3.93 ± 0.09
17	30	5	170	138.93 ± 1.24	9.66 ± 0.02	6.21 ± 0.01	4.87 ± 0.19
18	30	10	155	83.52 ± 0.61	5.36 ± 0.01	3.42 ± 0.03	3.82 ± 0.09
19	20	5	155	145.69 ± 1.02	9.61 ± 0.02	6.07 ± 0.01	7.11 ± 0.22
20	30	5	155	130.82 ± 1.42	9.28 ± 0.02	5.75 ± 0.01	6.17 ± 0.19
21	40	7.5	140	104.25 ± 0.87	7.09 ± 0.01	4.79 ± 0.08	4.83 ± 0.13
22	20	7.5	155	103.16 ± 1.09	7.22 ± 0.01	5.02 ± 0.08	5.59 ± 0.13
23	20	10	170	78.39 ± 0.62	4.87 ± 0.01	3.71 ± 0.02	3.79 ± 0.11
24	20	5	170	140.02 ± 1.02	8.84 ± 0.02	5.01 ± 0.07	5.43 ± 0.21
25	30	7.5	155	94.60 ± 1.08	8.14 ± 0.01	5.25 ± 0.04	4.36 ± 0.13
26	30	7.5	140	116.50 ± 2.58	8.07 ± 0.01	5.37 ± 0.04	3.75 ± 0.08
27	20	5	140	178.94 ± 2.00	8.48 ± 0.02	5.33 ± 0.06	6.29 ± 0.19

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

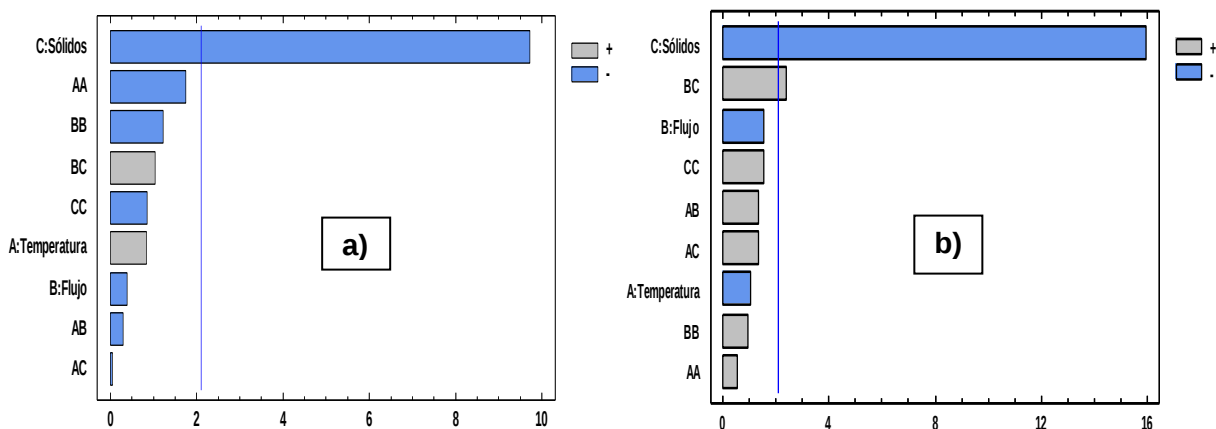


Figura 10: a) Diagrama de Pareto para fenoles totales, b) Diagrama de Pareto para FRAP

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Elaboración: Autor

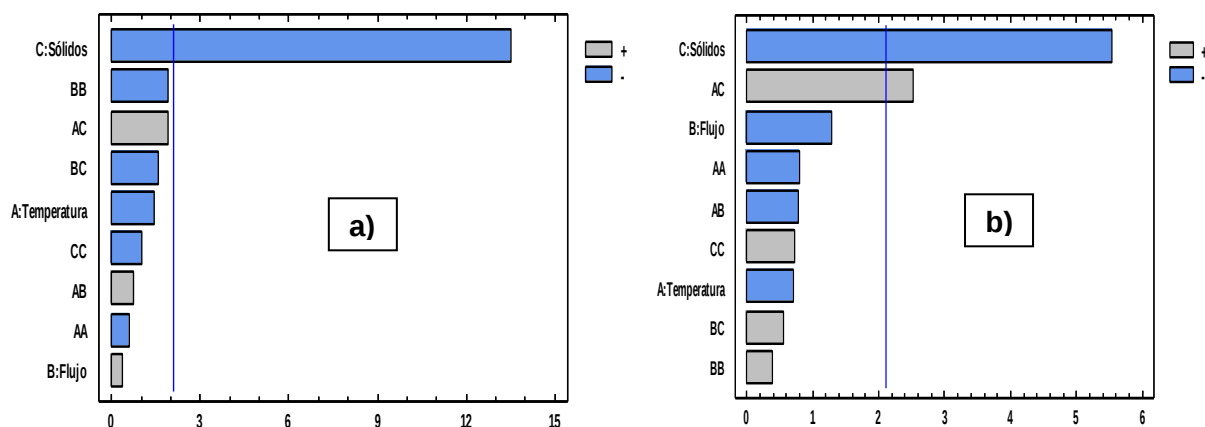


Figura 11: a) Diagrama de Pareto para ABTS, b) Diagrama de Pareto para DPPH

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Elaboración: Autor

4.3.1. Optimización de fenoles totales y capacidad antioxidante.

Los parámetros para obtener atomizados de subproductos de tamarindo con la mayor cantidad de fenoles totales y capacidad antioxidante posible fue diferente para los cuatro métodos de cuantificación utilizados (fenoles totales, ABTS, DPPH y FRAP), por tal motivo se realizó la optimización de múltiples respuestas con el fin de obtener un solo resultado para los 4 métodos. , En la **Tabla 8** se muestran los valores obtenidos; de los cuales a excepción de la cantidad de sólidos, todas las variables se encuentran dentro del rango de las variables estudiadas. En cuanto al porcentaje de sólidos que se encuentra en el límite inferior, está dado por el efecto de concentración de antioxidantes y fenoles totales, demostrado en el presente estudio ya que el contenido de fenoles totales y actividad antioxidante es superior la fibra del mesocarpio (**Tabla 8**) que lo esperado en la optimización de múltiples respuestas.

Tabla 8: Optimización de múltiples respuestas de fenoles totales y capacidad antioxidante en comparación con los valores del extracto de la fibra del mesocarpio.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo Fenoles totales	Óptimo FRAP	Óptimo ABTS	Óptimo DPPH
Temperatura	140 °C	170 °C	143.42 °C			
Flujo	20 %	40 %	20.80 %			
Sólidos	5 %	10 %	5 %			
Valor óptimo			156.21 mg EAG/100 g atomizado	8.72 µM ET/g atomizado	5.96 µM ET/100 g atomizado	6.74 µM ET/g atomizado
Extracto fibra de tamarindo			178.85 ± 4.59 mg EAG/100 g	16.58 ± 0.11 µM ET/g	8.76 ± 0.05 µM ET/100 g	13.51 ± 0.08 µM ET/g

Fuente: Statgraphics Centurion XVI.I

Elaboración: Autor

CONCLUSIONES

- ❖ Se optimizó el rendimiento de los atomizados, siendo los parámetros ideales temperatura de entrada 154.05 °C, sólidos: 6.96 % y flujo de bomba peristáltica: 20 %, consiguiendo con los mismo un rendimiento del 71.48 %.
- ❖ Dentro de los parámetros analizados se observó con influencia significativa, (i) que un mayor flujo disminuye el rendimiento, (ii) que mayores temperaturas aumentan el rendimiento, (iii) que una menor cantidad de sólidos aumenta el rendimiento.
- ❖ Del total de atomizados se obtuvieron las condiciones óptimas para obtener la mayor cantidad fenoles totales y capacidad antioxidante, es así que al equipo de secado por aspersión se lo debe configurar de la siguiente forma: temperatura de entrada 143 °C, 21 % de flujo y 5 % de sólidos totales.
- ❖ Se determinó una relación inversamente proporcional entre la cantidad de maltodextrina agregada y la cuantificación de fenoles totales y actividad antioxidante.

RECOMENDACIONES

- ❖ En futuras investigaciones, si se desea utilizar el atomizado como producto final para una bebida instantánea, se recomienda hacer un análisis sensorial del subproducto atomizado respecto a la pulpa atomizada y a bebidas de tamarindo que se comercializan.
- ❖ Si el producto en polvo obtenido se desea utilizar como producto final o ingrediente para la industria, es importante determinar el tiempo de vida útil
- ❖ Se recomienda analizar el subproducto con diferentes encapsulantes o en combinación con otros ya que podría haber un aumento en la capacidad de encapsulación de compuestos bioactivos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, D., Tirado, D., & Guzmán, L. (2013). Deshidratación osmótica de la pulpa de tamarindo (*Tamarindus indica* L.): Influencia de la temperatura y concentración. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), 123–130.
2. Aguirre, Z. H. (2012). Especies forestales de los bosques secos del Ecuador. In *Guía dendrológica para su identificación y caracterización. Proyecto Manejo Forestal Sostenible ante el Cambio Climático*. (p. 140). Quito: MAE/FAO - Finlandia.
3. AOAC. (1980). *Official Methods of Analysis*. (W. Horwitz, Ed.) (13th ed.). Washington: Association of Official Analytical Chemists.
4. Aqil, F., Ahmad, I., & Mehmood, Z. (2006). Antioxidant and free radical scavenging properties of twelve traditionally used Indian medicinal plants. *Turkish Journal of Biology*, 30(3), 177–183.
5. Arpagaus, C., & Schwartzbach, H. (2008). Scale-up from bench-top research to laboratory production. *Büchi Information Bulletin*, (52), 8.
6. Arrazola, G., Herazo, I., & Alvis, A. (2014). Microencapsulación de antocianinas de berenjena (*Solanum melongena* L.) mediante Secado por aspersión y evaluación de la estabilidad de su color y capacidad antioxidante. *Informacion Tecnologica*, 25(3), 31–42. <http://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300006>
7. Bakowska-Barczak, A. M., & Kolodziejczyk, P. P. (2011). Black currant polyphenols: Their storage stability and microencapsulation. *Industrial Crops and Products*, 34(2), 1301–1309. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.10.002>
8. Bennett, L. E., Jegasothy, H., Konczak, I., Frank, D., Sudharmarajan, S., & Clingeffer, P. R. (2011). Total polyphenolics and anti-oxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions. *Journal of Functional Foods*, 3(2), 115–124. <http://doi.org/10.1016/j.jff.2011.03.005>
9. Büchi Labortechnik AG. (2002). Training Papers Spray Drying. *Training Papers*, 1–19.
10. Büchi Switzerland. (n.d.). Secado por Pulverización y Encapsulación Formación de partículas a escala de laboratorio. Retrieved November 16, 2017, from https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjZzP67z8LXAhXM8CYKHWM0BVwQFggIIMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.buchi.com%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FSpray_Drying_Encapsulation_Solution_s_brochure_es_B_0.pdf%3F2790e702be94
11. Caluwé, E. De, Halamová, K., & Van Damme, P. (2010). *Tamarindus indica* L. – A review of traditional uses , phytochemistry and pharmacology. *Afrika Focus*, 23(1), 53–83. <http://doi.org/10.15406/japlr.2016.02.00031>

12. Chasekioglou, A. N., Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., & Lazarides, H. N. (2017). An approach to turn olive mill wastewater into a valuable food by-product based on spray drying in dehumidified air using drying aids. *Powder Technology*, 311, 376–389. <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.02.008>
13. do Prado, A. C. P., da Silva, H. S., da Silveira, S. M., Barreto, P. L. M., Vieira, C. R. W., Maraschin, M., ... Block, J. M. (2014). Effect of the extraction process on the phenolic compounds profile and the antioxidant and antimicrobial activity of extracts of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] shell. *Industrial Crops and Products*, 52, 552–561. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.11.031>
14. Flores, F. P., Singh, R. K., Kerr, W. L., Pegg, R. B., & Kong, F. (2014). Total phenolics content and antioxidant capacities of microencapsulated blueberry anthocyanins during in vitro digestion. *Food Chemistry*, 153, 272–278. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.063>
15. Forero, D. P., Carriazo, J. G., & Osorio, C. (2016). Effect of different drying methods on morphological, thermal, and biofunctional properties of lulo (*Solanum quitoense* Lam.) fruit powders. *Drying Technology*, 34(9), 1085–1094. <http://doi.org/10.1080/07373937.2015.1094667>
16. Forman, H. J., Davies, K., & Ursini, F. (2014). How do nutritional antioxidants really work: Nucleophilic tone and para-hormesis versus free radical scavenging in vivo. *Free Radical Biology and Medicine*, 66, 2–46. <http://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2013.05.045>
17. Francis, J. K., & Lowe, C. A. (2000). *Bioecología de Árboles Nativos y Exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. General Technical Report IITF - 15.* (S. Trabanino, Ed.). United States Department of Agriculture.
18. FRUINSA S.A.S. Frutas Industriales de Santander - Pulpa de Tamarindo. (2005). Retrieved January 14, 2018, from <http://www.fruinsa.com.co/pulpa-de-tamarindo.html>
19. Gabas, A., Telis, V., Sobral, P., & Telis-Romero, J. (2007). Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82(2), 246–252. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.02.029>
20. García Pereira, A., Muñiz Becerá, S., Hernández Gómez, A., González, L. M., & Fernández Valdés, D. (2013). Análisis comparativo de la cinética de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la Piña (*Ananas Comosus*, variedad Cayena lisa). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(1), 62–69. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000100011&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
21. Gonzalez Palomares, S. (2009). DETERMINACIÓN DE COMPUESTOS AROMÁTICOS EN TAMARINDO (*Tamarindus Indica* L.) MEDIANTE DOS MÉTODOS DE

EXTRACCIÓN. *Revista de Investigación Científica Y Tecnológica UNACAR*, 2(3), 13.

22. Gu, B., Linehan, B., & Tseng, Y.-C. (2015). Optimization of the Büchi B-90 spray drying process using central composite design for preparation of solid dispersions. *International Journal of Pharmaceutics*, 491(1–2), 208–217. <http://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.06.006>
23. Huang, D., Boxin, O., & Prior, R. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(6), 1841–1856. <http://doi.org/10.1021/jf030723c>
24. Karaçelik, A. A., Küçük, M., Iskefiyeli, Z., Aydemir, S., De Smet, S., Miserez, B., & Sandra, P. (2015). Antioxidant components of *Viburnum opulus* L. determined by on-line HPLC-UV-ABTS radical scavenging and LC-UV-ESI-MS methods. *Food Chemistry*, 175, 106–114. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.085>
25. Laokuldilok, T., & Kanha, N. (2015). Effects of processing conditions on powder properties of black glutinous rice (*Oryza sativa* L.) bran anthocyanins produced by spray drying and freeze drying. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 405–411. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.015>
26. LeClair, D. A., Cranston, E. D., Xing, Z., & Thompson, M. R. (2016). Optimization of Spray Drying Conditions for Yield, Particle Size and Biological Activity of Thermally Stable Viral Vectors. *Pharmaceutical Research*, 33(11), 2763–2776. <http://doi.org/10.1007/s11095-016-2003-4>
27. Lee, K. C., Yoon, Y. S., Li, F. Z., & Eun, J. B. (2016). Effects of inlet air temperature and concentration of carrier agents on physicochemical properties, sensory evaluation of spray-dried mandarin (*Citrus unshiu*) beverage powder. *Applied Biological Chemistry*, 60(1), 33–40. <http://doi.org/10.1007/s13765-016-0246-8>
28. López, O., Muñoz, A., Carmona, R., Torres, L., & González, M. (2006). *Influencia del uso de aditivos sobre el rendimiento del proceso de secado por aspersión de extracto acuoso de Calendula Officinalis L.* *Revista Cubana de Plantas Medicinales* (Vol. 11). Editorial Ciencias Médicas. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962006000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=en
29. Luna, J. J., López, J. M., Jiménez, O., & Luna, L. (2016). Microencapsulación de algunos compuestos bioactivos mediante secado por aspersión. *Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas Y Agropecuarias*, 5(10).
30. Maheswari, C. U., Guduri, B. R., & Rajulu, A. V. (2008). Properties of Lignocellulose Tamarind Fruit Fibers. *Applied Polymer Science*, 110(4), 1986–1989. <http://doi.org/10.1002/app.27915>

31. Maheswari, C. U., Reddy, K. O., Muzenda, E., Shukla, M., & Rajulu, a. V. (2013). Mechanical Properties and Chemical Resistance of Short Tamarind Fiber/Unsaturated Polyester Composites: Influence of Fiber Modification and Fiber Content. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 18(7), 520–533. <http://doi.org/10.1080/1023666X.2013.816073>
32. Marina, D., Avella, G., Alberto, C., García, O., & Cisneros, A. M. (2008). Medición de Fenoles y Actividad Antioxidante en Malezas Usadas para Alimentación Animal. In *Simposio de Metrologia* (pp. 1–5). Santiago de Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro. Retrieved from http://cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M2/SM2008-M220-1108.pdf
33. Martínez, I., Periago, M., & Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(1), 5–18.
34. Mini Spray Dryer B-290 Manual de instrucciones. (n.d.). Retrieved July 27, 2017, from https://www.buchi.com/es-es/system/files/downloads/093004_B-290_OM_ES_I_LR_0.pdf?e5e377b041f6cdfef749edf3867e755109c2746b0
35. Mini Spray Dryer B-290 process parameter table. (n.d.). Retrieved July 30, 2017, from https://static1.buchi.com/sites/default/files/downloads/B-290_Process_Parameters_en_01.pdf?bfe526aedfe73a80824b89662e599c3b3fc3e68a
36. Mishra, P., Mishra, S., & Mahanta, C. L. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 92(3), 252–258. <http://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.08.003>
37. Muñoz, O., Copaja, S., Speisky, H., Peña, R., & Montenegro, G. (2007). Contenido de flavonoides y compuestos fenólicos de mieles Chilenas e índice antioxidante. *Química Nova*, 30(4), 848–851. <http://doi.org/10.1590/S0100-40422007000400017>
38. Muzaffar, K., & Kumar, P. (2015). Parameter optimization for spray drying of tamarind pulp using response surface methodology. *Powder Technology*, 279, 179–184. <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.04.010>
39. Nigam, S. nne', Gupta, N., & Anthwal, A. (2009). Biotechnology for agro-industrial residues utilisation: Utilisation of agro-residues. *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation*, 13–33. <http://doi.org/10.1007/978-1-4020-9942-7>
40. Páez, M. E., Mercado, G., Blancas, F. J., Villegas, R. B., & Sáyagoi, S. G. (2015). Compuestos bioactivos y propiedades saludables del tamarindo (*Tamarindus indica* L.). *Ciencias Biológicas Y de La Salud*, 18(1), 10–21. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.18633/bt.v18i1.241>
41. Parra, R. (2011). Revisión: Microencapsulación de Alimentos. *Open Journal Systems*, 63(2), 5669–5684.

42. Polanco, P. (2015). El Tamarindo, laxante, astringente y rico en vitamina C | El Baúl del Consumidor. Retrieved January 21, 2017, from <http://elbauldelconsumidor.blogspot.com/2015/10/tamarindo-pectina-antioxidante.html>
43. Rajabi, H., Ghorbani, M., Jafari, S. M., Sadeghi, A., & Rajabzadeh, Q. (2015). Retention of saffron bioactive components by spray drying encapsulation using maltodextrin, gum Arabic and gelatin as wall materials. *Food Hydrocolloids*, 35. <http://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.05.033>
44. Rao Popuri, S., Jammala, A., Naga, K. V., & Abburi, K. (2007). Biosorption of hexavalent chromium using tamarind (*Tamarindus indica*) fruit shell-a comparative study. *Electronic Journal of Biotechnology*, 10(3), 358–367. <http://doi.org/10.4067/S0717-34582007000300003>
45. Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant Activity Applying an Improved ABTS Radical Cation Decolorization Assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9), 1231–1237. [http://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](http://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
46. Roginsky, V., & Lissi, E. (2005). Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. *Food Chemistry*, 92(2), 235–254. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.004>
47. Şahin-Nadeem, H., Dinçer, C., Torun, M., Topuz, A., & özdemir, F. (2013). Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. *LWT - Food Science and Technology*, 52(1), 31–38. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.01.007>
48. Saikia, S., Mahnot, N. K., & Mahanta, C. L. (2015). Effect of Spray Drying of Four Fruit Juices on Physicochemical, Phytochemical and Antioxidant Properties. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1656–1664. <http://doi.org/10.1111/jfpp.12395>
49. Santhalakshmy, S., Don Bosco, S. J., Francis, S., & Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. *Powder Technology*, 274, 37–43. <http://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.01.016>
50. Slinkard, K., & Singleton, V. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28(1), 49–55. <http://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.030>
51. Spray Drying training paper. (n.d.). Retrieved July 30, 2017, from https://static1.buchi.com/sites/default/files/downloads/Set_3_Training_Papers_Spray_Drying_en_01.pdf?996b2db24007502bd69c913b675467cfc63880ba

52. Tee, L. H., Chuah, L., Rashih, A., & Yusof, Y. A. (2012). Optimization of spray drying process parameters of Piper betle L. (Sirih) leaves extract coated with maltodextrin. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 4(3), 1833–1841. Retrieved from www.jocpr.com
53. 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. <http://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
54. Tirado, D., Acevedo, D., Montero, P., & Consulado, E. (2014). Propiedades Reológicas de la pulpa Edulcorada de tamarindo, 495–501.
55. Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411–418. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>
56. Tonon, R. V., Grosso, C. R. F., & Hubinger, M. D. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, 44(1), 282–289. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.10.018>
57. Valls, J., Lampreave, M., Nadal, M., & Arola, L. (2000). Importancia de los compuestos fenólicos en la calidad de los vinos tintos de crianza. *Alimentacion, Equipos Y Tecnologia*, 19(2), 119–124.
58. Yañez, J., Salazar, J., Chaires, L., & Jimenez, J. (2002). Aplicaciones Biotecnológicas de la Microencapsulación. *ResearchGate*, 21(January), 313–319.

ANEXOS

Anexo A: Flujo de la bomba peristáltica

Flujo (%)	mL	Tiempo (minutos)	flujo (mL/h)	Flujo (%)	mL	Tiempo (minutos)	flujo (mL/h)	Flujo (%)	mL	Tiempo (minutos)	flujo (mL/h)
20	100	14.25	421.05	30	100	10.17	590.16	40	100	7.45	805.37
20	100	14.17	423.53	30	100	10.08	595.04	40	100	7.48	801.78
20	100	14.20	422.54	30	100	10.12	593.08	40	100	7.43	807.17
20	100	14.12	425.03	30	100	10.02	599.00	40	100	7.58	791.21
20	100	14.07	426.54	30	100	10.08	595.04	40	100	7.53	796.46
20	100	14.17	423.53	30	100	10.10	594.06	40	100	7.57	792.95
20	100	14.77	406.32	30	100	10.10	594.06	40	100	7.83	765.96
20	100	14.75	406.78	30	100	10.17	590.16	40	100	7.80	769.23
20	100	14.67	409.09	30	100	10.12	593.08	40	100	7.67	782.61
20	100	14.67	409.09	30	100	10.10	594.06	40	100	7.73	775.86
20	100	14.75	406.78	30	100	10.07	596.03	40	100	7.57	792.95
20	100	14.72	407.70	30	100	10.12	593.08	40	100	7.82	767.59
20	100	14.33	418.60	30	100	10.10	594.06	40	100	7.67	782.61
20	100	14.40	416.67	30	100	10.08	595.04	40	100	7.83	765.96
20	100	14.38	417.15	30	100	10.07	596.03	40	100	7.70	779.22
20	100	14.30	419.58	30	100	9.75	615.38	40	100	7.58	791.21
20	100	14.17	423.53	30	100	9.83	610.17	40	100	7.62	787.75
20	100	14.33	418.60	30	100	9.77	614.33	40	100	7.50	800.00
20	100	13.93	430.62	30	100	9.87	608.11	40	100	7.92	757.89
20	100	13.97	429.59	30	100	9.77	614.33	40	100	7.90	759.49
20	100	13.87	432.69	30	100	9.67	620.69	40	100	7.93	756.30
20	100	14.77	406.32	30	100	9.63	622.84	40	100	7.43	807.17
20	100	14.82	404.95	30	100	9.70	618.56	40	100	7.38	812.64
20	100	14.80	405.41	30	100	9.67	620.69	40	100	7.35	816.33
20	100	14.33	418.60	30	100	10.17	590.16	40	100	7.50	800.00
20	100	14.30	419.58	30	100	10.25	585.37	40	100	7.52	798.23
20	100	14.37	417.63	30	100	10.20	588.24	40	100	7.47	803.57

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

❖ Ejemplo de cálculo del flujo

14,25 minutos = 100 mL

60 minutos = X

X= 421.05 mL/h

❖ Flujo promedio de los extractos con maltodextrina

Flujo (% bomba)	Promedio (mL/h)	Desviación estándar	C _v (%)
20	417.32	8.47	2.03
30	600.77	11.69	1.95
40	787.69	17.71	2.25

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Anexo B: Reconstitución de atomizados

5 % = 0.5 g atomizado + 9.5 g H₂O destilada

7.5 % = 0.75 g atomizado + 9,25 g H₂O destilada

10 % = 1 g atomizado + 9 g H₂O destilada

Anexo C: Sólidos totales, acidez

1. Sólidos totales

Extracto fibra del mesocarpio			
Vaso #	Vacío (g)	Lleno (g)	Secado (g)
1	108.71	113.82	108.80
2	110.25	114.00	110.32
3	111.58	115.65	111.66
Sólidos totales (%)			
1.79		Promedio	1.78 %
1.66		Desviación estándar	0.12
1.90		Coeficiente de variación	6.58 %
Extracto pulpa			
Vaso #	Vacío (g)	Lleno (g)	Secado (g)
1	108.97	114.03	109.06
2	106.88	110.88	106.94
3	95.57	99.57	95.65
Sólidos totales (%)			
1.70		Promedio	1.76 %
1.68		Desviación estándar	0.12
1.90		Coeficiente de variación	6.93 %

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Ejemplo:

$$\% \text{ Sólidos Totales} = \frac{(\text{Extracto seco}) \times 100}{\text{Extracto}}$$

$$\% \text{ Sólidos Totales} = \frac{(108.80 - 108.71) \times 100}{113.82 - 108.71} = 1.79$$

2. Porcentaje de Acidez

Extracto fibra del mesocarpio			
Peso de la muestra (g)	Hidróxido de sodio (mL)	Peso equivalente del ácido tartárico (g)	Normalidad Real
3.01	5.97	75.05	0.017
3.01	6.15	75.05	0.017
3.02	5.94	75.05	0.017
Acidez (%)			
0.25	Promedio		0.25 %
0.26	Desviación estándar		0.01
0.25	Coeficiente de variación		2.06 %
Extracto pulpa			
Peso de la muestra (g)	Hidróxido de sodio (mL)	Peso equivalente del ácido tartárico (g)	Normalidad Real
3.01	6.86848	75.05	0.017
3.02	7.38508	75.05	0.017
2.98	6.83382	75.05	0.017
Acidez (%)			
0.29	Promedio		0.30
0.31	Desviación estándar		0.01
0.29	Coeficiente de variación		3.90

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Ejemplo:

$$\% \text{ Acidéz} = \frac{\text{Volumen gastado de NaOH} \times 0.017 \times 75.05 \text{ g/mol} \times 100}{\text{Volumen o Peso de muestra} \times 1000}$$

$$\% \text{ Acidéz} = \frac{5.97 \times 0.017 \times 75.05 \text{ g/mol} \times 100}{3.01 \times 1000} = 0.25$$

Anexo C: Rendimiento de los atomizados. F_B = flujo de la bomba, S_S = Sólidos solubles, D_E = Desviación estándar, C_V = Coeficiente de variación.

N	F _B (%)	S _S (%)	Temperatura de entrada (°C)	Peso del atomizado (g)	Sólidos extracto (1.78 %)	Maltodextrina agregada (g)	Total a Atomizar (g)	Rendimiento (%)	Promedio (%)	D _E	C _V (%)
1	20	10	140	12.14	2.67	14.76	17.43	69.68	69.76	0.08	0.11
1	20	10	140	12.16	2.67	14.76	17.43	69.79			
1	20	10	140	12.17	2.67	14.76	17.43	69.82			
2	40	10	140	7.58	2.67	14.76	17.43	43.49	43.47	0.10	0.22
2	40	10	140	7.59	2.67	14.76	17.43	43.55			
2	40	10	140	7.56	2.67	14.76	17.43	43.36			
3	40	5	170	6.08	2.67	7.38	10.05	60.50	60.70	0.18	0.30
3	40	5	170	6.10	2.67	7.38	10.05	60.74			
3	40	5	170	6.12	2.67	7.38	10.05	60.85			
4	40	7.5	170	6.67	2.67	9.46	12.13	54.99	54.97	0.10	0.19
4	40	7.5	170	6.68	2.67	9.46	12.13	55.06			
4	40	7.5	170	6.65	2.67	9.46	12.13	54.85			

Continua:

5	40	7.5	155	7.28	2.67	9.46	12.13	60.02	59.84	0.19	0.32
5	40	7.5	155	7.23	2.67	9.46	12.13	59.63			
5	40	7.5	155	7.26	2.67	9.46	12.13	59.86			
6	40	5	140	4.35	2.67	7.38	10.05	43.28	43.16	0.12	0.28
6	40	5	140	4.34	2.67	7.38	10.05	43.15			
6	40	5	140	4.33	2.67	7.38	10.05	43.04			
7	40	10	155	9.25	2.67	14.76	17.43	53.07	52.97	0.13	0.25
7	40	10	155	9.21	2.67	14.76	17.43	52.82			
7	40	10	155	9.24	2.67	14.76	17.43	53.02			
8	20	7.5	140	8.25	2.67	9.46	12.13	68.01	67.95	0.19	0.28
8	20	7.5	140	8.22	2.67	9.46	12.13	67.74			
8	20	7.5	140	8.26	2.67	9.46	12.13	68.10			
9	30	10	140	9.56	2.67	14.76	17.43	54.85	54.80	0.12	0.22
9	30	10	140	9.57	2.67	14.76	17.43	54.88			
9	30	10	140	9.53	2.67	14.76	17.43	54.66			

Continua:

10	30	5	140	6.30	2.67	7.38	10.05	62.69	62.67	0.08	0.13
10	30	5	140	6.31	2.67	7.38	10.05	62.74			
10	30	5	140	6.29	2.67	7.38	10.05	62.58			
11	30	10	170	10.26	2.67	14.76	17.43	58.87	58.76	0.09	0.16
11	30	10	170	10.23	2.67	14.76	17.43	58.69			
11	30	10	170	10.24	2.67	14.76	17.43	58.72			
12	20	10	155	11.76	2.67	14.76	17.43	67.47	67.39	0.11	0.17
12	20	10	155	11.75	2.67	14.76	17.43	67.44			
12	20	10	155	11.72	2.67	14.76	17.43	67.26			
13	30	7.5	170	7.73	2.67	9.46	12.13	63.74	63.68	0.17	0.26
13	30	7.5	170	7.70	2.67	9.46	12.13	63.49			
13	30	7.5	170	7.74	2.67	9.46	12.13	63.81			
14	20	7.5	170	8.70	2.67	9.46	12.13	71.71	71.81	0.09	0.13
14	20	7.5	170	8.72	2.67	9.46	12.13	71.89			
14	20	7.5	170	8.71	2.67	9.46	12.13	71.84			

Continua:

15	40	5	155	5.38	2.67	7.38	10.05	53.49	53.35	0.19	0.36
15	40	5	155	5.34	2.67	7.38	10.05	53.13			
15	40	5	155	5.37	2.67	7.38	10.05	53.43			
16	40	10	170	8.84	2.67	14.76	17.43	50.72	50.80	0.08	0.16
16	40	10	170	8.87	2.67	14.76	17.43	50.88			
16	40	10	170	8.85	2.67	14.76	17.43	50.80			
17	30	5	170	6.76	2.67	7.38	10.05	67.26	67.15	0.12	0.18
17	30	5	170	6.74	2.67	7.38	10.05	67.02			
17	30	5	170	6.75	2.67	7.38	10.05	67.15			
18	30	10	155	10.23	2.67	14.76	17.43	58.70	58.65	0.07	0.11
18	30	10	155	10.21	2.67	14.76	17.43	58.58			
18	30	10	155	10.23	2.67	14.76	17.43	58.67			
19	20	5	155	6.89	2.67	7.38	10.05	68.56	68.78	0.19	0.28
19	20	5	155	6.92	2.67	7.38	10.05	68.89			
19	20	5	155	6.92	2.67	7.38	10.05	68.89			

Continua:

20	30	5	155	6.51	2.67	7.38	10.05	64.76	64.84	0.12	0.18
20	30	5	155	6.51	2.67	7.38	10.05	64.78			
20	30	5	155	6.53	2.67	7.38	10.05	64.98			
21	40	7.5	140	6.17	2.67	9.46	12.13	50.88	51.07	0.17	0.34
21	40	7.5	140	6.20	2.67	9.46	12.13	51.15			
21	40	7.5	140	6.21	2.67	9.46	12.13	51.20			
22	20	7.5	155	7.84	2.67	9.46	12.13	64.63	64.58	0.13	0.21
22	20	7.5	155	7.82	2.67	9.46	12.13	64.43			
22	20	7.5	155	7.85	2.67	9.46	12.13	64.68			
23	20	10	170	11.90	2.67	14.76	17.43	68.25	68.18	0.08	0.12
23	20	10	170	11.87	2.67	14.76	17.43	68.09			
23	20	10	170	11.89	2.67	14.76	17.43	68.22			
24	20	5	170	6.93	2.67	7.38	10.05	68.96	69.01	0.07	0.10
24	20	5	170	6.93	2.67	7.38	10.05	68.98			
24	20	5	170	6.94	2.67	7.38	10.05	69.09			

Continua:

25	30	7.5	155	8.21	2.67	9.46	12.13	67.72	67.67	0.13	0.20
25	30	7.5	155	8.19	2.67	9.46	12.13	67.52			
25	30	7.5	155	8.22	2.67	9.46	12.13	67.77			
26	30	7.5	140	8.12	2.67	9.46	12.13	66.95	66.94	0.08	0.12
26	30	7.5	140	8.13	2.67	9.46	12.13	67.02			
26	30	7.5	140	8.11	2.67	9.46	12.13	66.86			
27	20	5	140	7.05	2.67	7.38	10.05	70.15	70.27	0.11	0.16
27	20	5	140	7.07	2.67	7.38	10.05	70.37			
27	20	5	140	7.06	2.67	7.38	10.05	70.29			

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Anexo E: Fenoles totales y actividad antioxidante.

1. Fenoles totales

❖ Elaboración de Solución Madre

Peso Ácido Gálico (mg)	Riqueza (%)	Aforo (mL)	Concentración Solución Madre
			(mg/mL)
20	97.5%	10	1.95

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

$$\text{Concentración solución madre} = \frac{\text{Peso Ácido Gálico} \times \text{Aforo} \times \text{Riqueza}}{100 \%}$$

$$\text{Concentración solución madre} = \frac{20 \text{ mg} \times 10 \text{ mL} \times 97 \%}{100 \%} = 1.95 \text{ mg/mL}$$

❖ Elaboración de estándares para la curva de calibración

Curva de Calibración (Estándar 20 mg ácido Gálico/10 mL Metanol). 725 nm						
Ácido Gálico (mg/mL)	Alícuota de solución madre (mL)	Aforo metanol (mL)	Absorbancia Curva			Promedio
0	0	10	0.02	0.02	0.02	0.02
0.0195	0.1	10	0.09	0.10	0.09	0.09
0.039	0.2	10	0.20	0.20	0.20	0.20
0.0585	0.3	10	0.30	0.30	0.30	0.30
0.078	0.4	10	0.40	0.39	0.40	0.40
0.0975	0.5	10	0.49	0.49	0.50	0.49

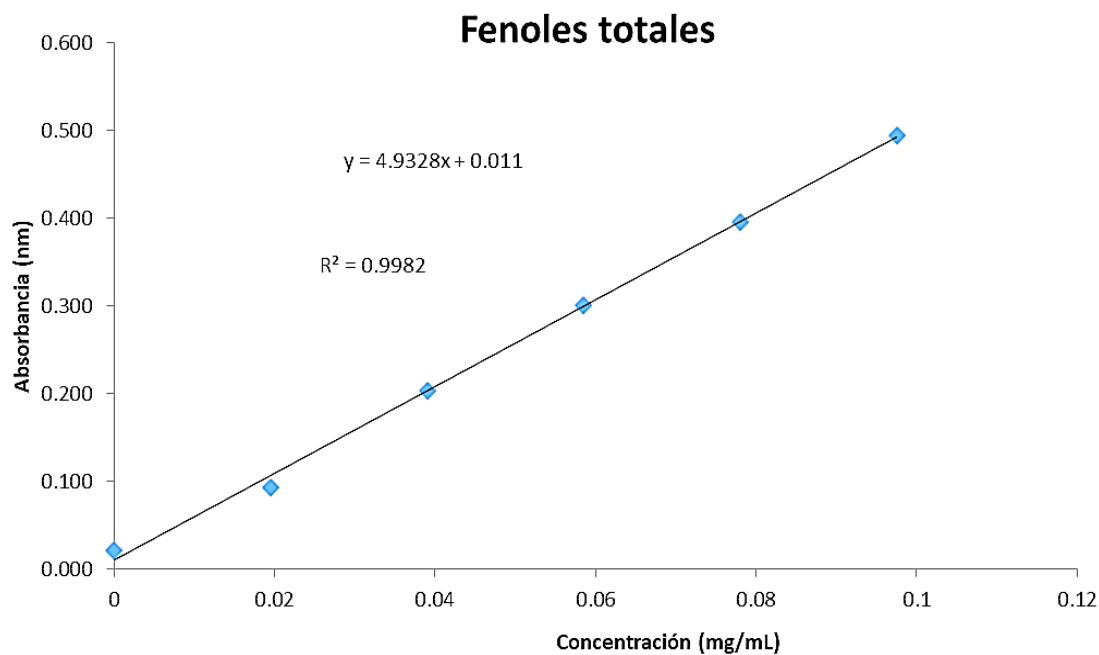
Fuente: Autor

Elaboración: Autor

$$\text{Concentración Estándar} = \frac{\text{Alícuota de solución madre} \times \text{Concentración Solución Madre}}{\text{Aforo metanol}}$$

$$\text{Concentración Estándar} = \frac{0.1 \text{ mL} \times 1.95 \text{ mg/mL}}{10 \text{ mL}} = 0.0195 \text{ mg/mL}$$

❖ **Curva de calibración**



Fuente: Autor

Elaboración: Autor

Pendiente: 4.9328

Intercepto: 0.011

R^2 = 0.9982

❖ **Cálculo del contenido de fenoles totales en 100 g de muestra, a partir de la curva de calibración**

$$\text{Fenoles totales} = \left(\frac{\text{Absorbancia muestra} - \text{Intercepto}}{\text{Pendiente}} \right) \times \left(\frac{\text{Aforo de la muestra}}{\text{peso muestra}} \times 100 \right)$$

Ejemplo: Cuantificación del extracto.

$$\text{Fenoles totales} = \left(\frac{0.297 - 0.011}{4.9328} \right) \times \left(\frac{50 \text{ mL}}{1.67} \times 100 \right)$$

$$\text{Fenoles totales} = 173.59 \text{ mg Eq AG/100 g}$$

❖ Datos de fenoles totales. F_B = flujo de la bomba, S = Sólidos, T_o = temperatura de entrada, C_v = Coeficiente de variación.

Muestra	F_B (%)	S (%)	T_o (°C)	Absorbancia	mg EAG/100 g atomizado	Desviación estándar	Promedio	C_v (%)
1	20	10	140	0.38	74.60	0.71	74.67	0.95
1	20	10	140	0.38	73.99			
1	20	10	140	0.38	75.41			
2	40	10	140	0.38	75.62	0.73	74.81	0.98
2	40	10	140	0.38	74.60			
2	40	10	140	0.38	74.20			
3	40	5	170	0.33	130.15	0.81	130.96	0.62
3	40	5	170	0.33	130.96			
3	40	5	170	0.34	131.77			
4	40	7.5	170	0.41	106.77	0.83	105.87	0.78
4	40	7.5	170	0.40	105.69			
4	40	7.5	170	0.40	105.15			
5	40	7.5	155	0.38	98.93	3.38	102.26	3.30
5	40	7.5	155	0.39	102.17			
5	40	7.5	155	0.40	105.69			
6	40	5	140	0.33	130.96	1.46	129.74	1.13
6	40	5	140	0.33	130.15			
6	40	5	140	0.33	128.12			

Continua:

7	40	10	155	0.41	80.48	0.62	79.81	0.78
7	40	10	155	0.40	79.67			
7	40	10	155	0.40	79.27			
8	20	7.5	140	0.39	102.98	0.95	102.08	0.93
8	20	7.5	140	0.39	101.09			
8	20	7.5	140	0.39	102.17			
9	30	10	140	0.39	75.82	0.62	75.95	0.82
9	30	10	140	0.39	76.63			
9	30	10	140	0.38	75.41			
10	30	5	140	0.34	133.80	0.70	134.20	0.52
10	30	5	140	0.34	135.01			
10	30	5	140	0.34	133.80			
11	30	10	170	0.37	73.18	0.61	72.58	0.84
11	30	10	170	0.37	71.97			
11	30	10	170	0.37	72.58			
12	20	10	155	0.38	75.62	0.71	75.68	0.94
12	20	10	155	0.38	75.01			
12	20	10	155	0.39	76.43			

Continua:

13	30	7.5	170	0.38	100.01	0.87	100.64	0.86
13	30	7.5	170	0.39	101.63			
13	30	7.5	170	0.38	100.28			
14	20	7.5	170	0.41	107.31	0.95	106.32	0.89
14	20	7.5	170	0.40	106.23			
14	20	7.5	170	0.40	105.42			
15	40	5	155	0.36	140.29	1.40	141.10	1.00
15	40	5	155	0.36	142.72			
15	40	5	155	0.36	140.29			
16	40	10	170	0.41	81.29	0.61	80.68	0.75
16	40	10	170	0.41	80.08			
16	40	10	170	0.41	80.68			
17	30	5	170	0.35	138.66	1.24	138.93	0.89
17	30	5	170	0.36	140.29			
17	30	5	170	0.35	137.85			
18	30	10	155	0.42	83.52	0.61	83.52	0.73
18	30	10	155	0.43	84.13			
18	30	10	155	0.42	82.91			

Continua:

19	20	5	155	0.37	144.75	1.02	145.69	0.70
19	20	5	155	0.37	145.56			
19	20	5	155	0.37	146.77			
20	30	5	155	0.33	129.34	1.42	130.82	1.09
20	30	5	155	0.33	130.96			
20	30	5	155	0.34	132.18			
21	40	7.5	140	0.39	103.25	0.87	104.25	0.83
21	40	7.5	140	0.40	104.61			
21	40	7.5	140	0.40	104.88			
22	20	7.5	155	0.40	104.34	1.09	103.16	1.06
22	20	7.5	155	0.39	102.98			
22	20	7.5	155	0.39	102.17			
23	20	10	170	0.40	79.06	0.62	78.39	0.79
23	20	10	170	0.40	78.25			
23	20	10	170	0.40	77.85			
24	20	5	170	0.36	141.10	1.02	140.02	0.73
24	20	5	170	0.36	139.88			
24	20	5	170	0.35	139.07			

Continua:

25	30	7.5	155	0.37	95.69	1.08	94.60	1.14
25	30	7.5	155	0.36	93.52			
25	30	7.5	155	0.36	94.60			
26	30	7.5	140	0.45	118.93	2.58	116.50	2.21
26	30	7.5	140	0.43	113.80			
26	30	7.5	140	0.44	116.77			
27	20	5	140	0.45	177.99	2.00	178.94	1.12
27	20	5	140	0.46	181.24			
27	20	5	140	0.45	177.59			
Extracto				0.30	173.59	4.60	178.85	2.57
Extracto				0.31	182.09			
Extracto				0.31	180.87			

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

2. FRAP

❖ Elaboración de Solución Madre

Peso Trolox (g)	Masa molar (g/mol)	Riqueza (%)	Aforo metanol (mL)	Concentración Solución Madre
				($\mu\text{M/L}$)
0.00625	250.29	97	25	968.88

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

$$\text{Concentración solución madre} = \frac{\text{Peso trolox} \times 10^9 \times \text{Riqueza}}{\text{Masa molar} \times \text{Aforo metanol} \times 100 \%}$$

$$\text{Concentración solución madre} = \frac{0.00625 \text{ g} \times 10^9 \times 97 \%}{250.29 \text{ g/mol} \times 25 \text{ mL} \times 100 \%} = 968.88 \text{ uM/L}$$

❖ Elaboración de estándares para la curva de calibración

Curva de Calibración (Estándar 6.25 mg Trolox/25 mL Metanol). 593 nm						
Trolox ($\mu\text{M/L}$)	Alícuota de solución madre (mL)	Aforo metanol (mL)	Absorbancia Curva			Promedio
38.76	0.4	10	0.15	0.15	0.15	0.15
193.78	2	10	0.39	0.39	0.39	0.39
387.55	4	10	0.79	0.80	0.79	0.80
581.33	6	10	1.29	1.30	1.30	1.30
775.10	8	10	1.70	1.69	1.69	1.69

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

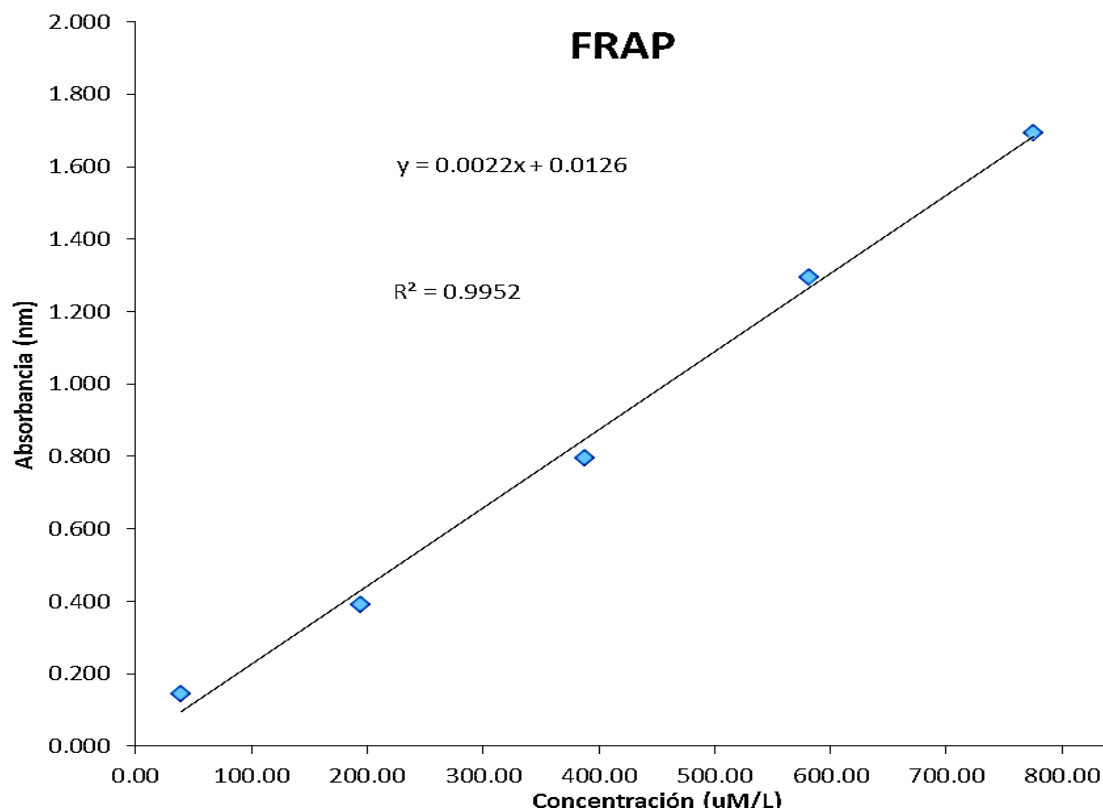
$$\text{Concentración Estándar} = \frac{\text{Alícuota de solución madre} \times \text{Concentración Solución Madre}}{\text{Aforo metanol}}$$

Ejemplo de concentración estándar:

$$\text{Concentración Estándar} = \frac{8 \text{ mL} \times 968.88 \text{ uM/L}}{10 \text{ mL}}$$

$$\text{Concentración Estándar} = 775.10 \text{ uM/L}$$

❖ **Curva de calibración**



Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Pendiente: 0.002

Intercepto: 0.0126

R² = 0.9952

❖ **Cálculo del contenido de antioxidantes por gramo de muestra, a partir de la curva de calibración**

$$FRAP = \left(\frac{\text{Absorbancia muestra} - \text{Intercepto}}{\text{Pendiente}} \times \frac{1}{1000} \right) \times \left(\frac{50 \text{ mL}}{1.67 \text{ g}} \right)$$

Ejemplo: Cuantificación del extracto.

$$FRAP = \left(\frac{1.123 - 0.0126}{0.002} \times \frac{1}{1000} \right) \times \left(\frac{50 \text{ mL}}{1.67 \text{ g}} \right)$$

$$FRAP = 16.62 \text{ uM Eq Trolox/g}$$

❖ Datos de FRAP. F_B = flujo de la bomba, S = Sólidos, T_o = temperatura de entrada, C_v = Coeficiente de variación.

Muestra	F_B (%)	S (%)	T_o (°C)	Absorbancia	$\mu\text{M ET/g atomizado}$	Desviación estándar	Promedio	C_v (%)
1	20	10	140	0.77	3.78	0.02	3.81	0.66
1	20	10	140	0.78	3.83			
1	20	10	140	0.77	3.81			
2	40	10	140	0.71	3.50	0.02	3.52	0.67
2	40	10	140	0.72	3.54			
2	40	10	140	0.71	3.51			
3	40	5	170	0.74	7.24	0.05	7.29	0.69
3	40	5	170	0.74	7.29			
3	40	5	170	0.75	7.34			
4	40	7.5	170	0.94	6.18	0.04	6.13	0.66
4	40	7.5	170	0.93	6.10			
4	40	7.5	170	0.93	6.11			
5	40	7.5	155	0.87	5.74	0.05	5.79	0.81
5	40	7.5	155	0.88	5.80			
5	40	7.5	155	0.89	5.84			
6	40	5	140	0.75	7.35	0.05	7.40	0.68
6	40	5	140	0.75	7.39			
6	40	5	140	0.76	7.45			

Continua:

7	40	10	155	0.89	4.40	0.03	4.37	0.63
7	40	10	155	0.89	4.37			
7	40	10	155	0.88	4.34			
8	20	7.5	140	0.90	5.92	0.02	5.94	0.39
8	20	7.5	140	0.90	5.92			
8	20	7.5	140	0.91	5.96			
9	30	10	140	0.86	4.22	0.04	4.18	0.86
9	30	10	140	0.84	4.15			
9	30	10	140	0.85	4.17			
10	30	5	140	0.72	7.06	0.04	7.10	0.51
10	30	5	140	0.72	7.11			
10	30	5	140	0.73	7.13			
11	30	10	170	0.77	3.80	0.01	3.81	0.15
11	30	10	170	0.78	3.81			
11	30	10	170	0.78	3.81			
12	20	10	155	0.72	3.52	0.01	3.52	0.30
12	20	10	155	0.71	3.51			
12	20	10	155	0.72	3.53			

Continua:

13	30	7.5	170	0.99	6.50	0.01	6.49	0.16
13	30	7.5	170	0.99	6.49			
13	30	7.5	170	0.99	6.48			
14	20	7.5	170	0.97	6.35	0.01	6.36	0.18
14	20	7.5	170	0.97	6.37			
14	20	7.5	170	0.97	6.37			
15	40	5	155	1.02	10.02	0.02	10.03	0.15
15	40	5	155	1.02	10.04			
15	40	5	155	1.01	10.01			
16	40	10	170	1.11	5.50	0.01	5.49	0.18
16	40	10	170	1.11	5.49			
16	40	10	170	1.11	5.48			
17	30	5	170	0.98	9.65	0.02	9.66	0.16
17	30	5	170	0.98	9.64			
17	30	5	170	0.98	9.67			
18	30	10	155	1.09	5.37	0.01	5.36	0.14
18	30	10	155	1.08	5.36			
18	30	10	155	1.09	5.36			

Continua:

19	20	5	155	0.97	9.59	0.02	9.61	0.16
19	20	5	155	0.97	9.61			
19	20	5	155	0.98	9.62			
20	30	5	155	0.94	9.26	0.02	9.28	0.16
20	30	5	155	0.94	9.29			
20	30	5	155	0.94	9.28			
21	40	7.5	140	1.08	7.10	0.01	7.09	0.11
21	40	7.5	140	1.08	7.08			
21	40	7.5	140	1.08	7.10			
22	20	7.5	155	1.10	7.24	0.01	7.22	0.18
22	20	7.5	155	1.09	7.21			
22	20	7.5	155	1.10	7.22			
23	20	10	170	0.99	4.88	0.01	4.87	0.18
23	20	10	170	0.99	4.88			
23	20	10	170	0.99	4.86			
24	20	5	170	0.90	8.82	0.02	8.84	0.17
24	20	5	170	0.90	8.84			
24	20	5	170	0.90	8.85			

Continua:

25	30	7.5	155	1.23	8.14	0.01	8.14	0.08
25	30	7.5	155	1.23	8.14			
25	30	7.5	155	1.23	8.13			
26	30	7.5	140	1.23	8.08	0.01	8.07	0.10
26	30	7.5	140	1.22	8.07			
26	30	7.5	140	1.22	8.07			
27	20	5	140	0.86	8.46	0.02	8.48	0.18
27	20	5	140	0.86	8.48			
27	20	5	140	0.86	8.49			
Extracto				1.12	16.62	0.11	16.58	0.67
Extracto				1.11	16.46			
Extracto				1.13	16.67			

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

3. ABTS

❖ Elaboración de Solución Madre

Peso Trolox (g)	Masa molar (g/mol)	Riqueza (%)	Aforo metanol (mL)	Concentración Solución Madre
				(µM/L)
0.00625	250.29	97	25	968.88

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

$$\text{Concentración solución madre} = \frac{\text{Peso trolox} \times 10^9 \times \text{Riqueza}}{\text{Masa molar} \times \text{Aforo metanol} \times 100 \%}$$

❖ Elaboración de estándares para la curva de calibración

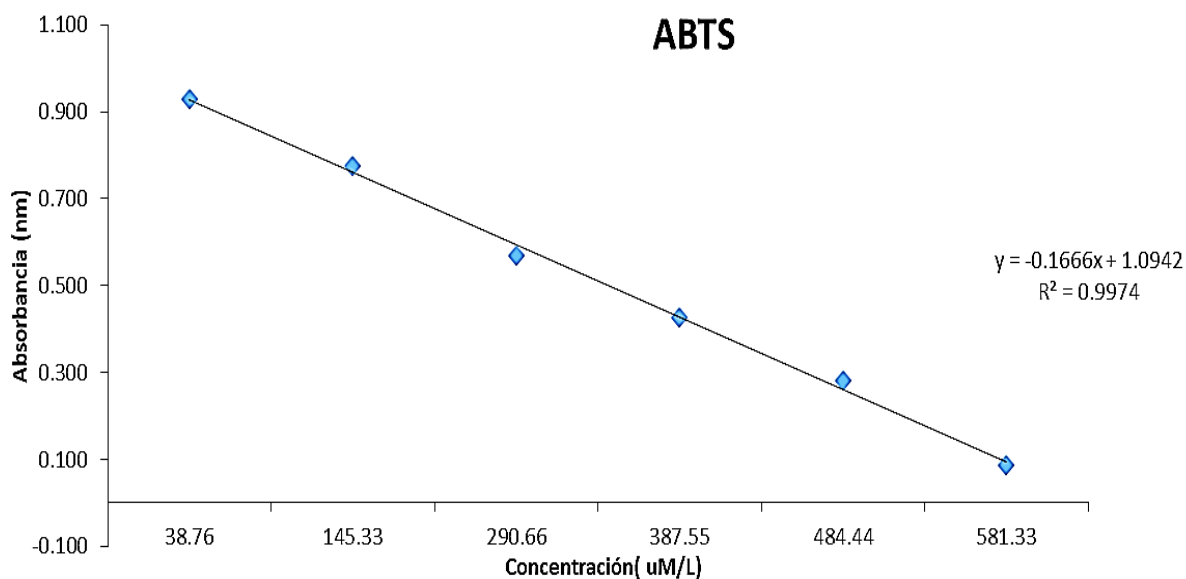
Curva de Calibración (Estándar 6.25 mg Trolox/ 25 mL Metanol). 734 nm						
Trolox (µM/L)	Alícuota de solución madre (mL)	Aforo metanol (mL)	Absorbancia Curva			Promedio
38.76	0.4	10	0.89	0.89	0.89	0.89
145.33	1.5	10	0.70	0.69	0.70	0.70
290.66	3	10	0.54	0.54	0.54	0.54
387.55	4	10	0.40	0.40	0.40	0.40
484.44	5	10	0.21	0.22	0.22	0.21
581.33	6	10	0.10	0.09	0.10	0.10

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

$$\text{Concentración Estándar} = \frac{\text{Alícuota de solución madre} \times \text{Concentración Solución Madre}}{\text{Aforo metanol}}$$

❖ **Curva de calibración**



Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Pendiente: - 0.1666

Intercepto: 1.0942

R² = 0.9974

❖ **Cálculo del contenido de antioxidantes por 100 gramos de muestra, a partir de la curva de calibración**

$$ABTS = \left(\frac{\text{Absorbancia muestra} - \text{Intercepto}}{\text{Pendiente}} \times \frac{1}{1000} \right) \times \left(\frac{\text{Aforo de la muestra}}{\text{peso muestra}} \times 100 \right)$$

Ejemplo: Cuantificación del extracto.

$$ABTS = \left(\frac{0.609 - 1.0942}{-0.1666} \times \frac{1}{1000} \right) \left(\frac{50 \text{ mL}}{1.67} \times 100 \right)$$

$$ABTS = 8.71 \text{ uM Eq Trolox/100 g}$$

❖ Datos de ABTS. F_B = flujo de la bomba, S = Sólidos, T_o = temperatura de entrada, C_v = Coeficiente de variación.

Muestra	F_B (%)	S (%)	T_o (°C)	Absorbancia	$\mu\text{M ET}/100 \text{ g atomizado}$	Desviación estándar	Promedio	C_v (%)
1	20	10	140	0.53	3.36	0.02	3.34	0.59
1	20	10	140	0.53	3.34			
1	20	10	140	0.53	3.32			
2	40	10	140	0.62	2.87	0.02	2.89	0.80
2	40	10	140	0.61	2.92			
2	40	10	140	0.61	2.88			
3	40	5	170	0.62	5.73	0.04	5.70	0.71
3	40	5	170	0.62	5.71			
3	40	5	170	0.62	5.65			
4	40	7.5	170	0.48	4.82	0.02	4.84	0.46
4	40	7.5	170	0.48	4.84			
4	40	7.5	170	0.48	4.86			
5	40	7.5	155	0.52	4.57	0.03	4.60	0.57
5	40	7.5	155	0.51	4.59			
5	40	7.5	155	0.51	4.62			
6	40	5	140	0.57	6.27	0.04	6.31	0.57
6	40	5	140	0.56	6.33			
6	40	5	140	0.56	6.32			

Continua:

7	40	10	155	0.45	3.80	0.02	3.78	0.60
7	40	10	155	0.45	3.79			
7	40	10	155	0.46	3.76			
8	20	7.5	140	0.43	5.18	0.07	5.25	1.43
8	20	7.5	140	0.43	5.24			
8	20	7.5	140	0.41	5.33			
9	30	10	140	0.46	3.76	0.01	3.77	0.23
9	30	10	140	0.45	3.77			
9	30	10	140	0.46	3.76			
10	30	5	140	0.54	6.53	0.11	6.65	1.68
10	30	5	140	0.53	6.66			
10	30	5	140	0.52	6.76			
11	30	10	170	0.45	3.77	0.05	3.82	1.39
11	30	10	170	0.44	3.83			
11	30	10	170	0.44	3.88			
12	20	10	155	0.48	3.60	0.05	3.65	1.47
12	20	10	155	0.47	3.71			
12	20	10	155	0.48	3.64			

Continua:

13	30	7.5	170	0.55	4.33	0.02	4.32	0.36
13	30	7.5	170	0.55	4.31			
13	30	7.5	170	0.55	4.30			
14	20	7.5	170	0.54	4.37	0.03	4.34	0.69
14	20	7.5	170	0.55	4.32			
14	20	7.5	170	0.55	4.32			
15	40	5	155	0.60	5.87	0.01	5.87	0.19
15	40	5	155	0.61	5.85			
15	40	5	155	0.60	5.88			
16	40	10	170	0.50	3.51	0.01	3.51	0.18
16	40	10	170	0.50	3.50			
16	40	10	170	0.50	3.50			
17	30	5	170	0.57	6.20	0.01	6.21	0.21
17	30	5	170	0.57	6.22			
17	30	5	170	0.57	6.22			
18	30	10	155	0.51	3.45	0.03	3.42	0.86
18	30	10	155	0.52	3.41			
18	30	10	155	0.52	3.40			

Continua:

19	20	5	155	0.58	6.09	0.01	6.07	0.21
19	20	5	155	0.59	6.07			
19	20	5	155	0.59	6.07			
20	30	5	155	0.61	5.76	0.01	5.75	0.19
20	30	5	155	0.62	5.74			
20	30	5	155	0.61	5.75			
21	40	7.5	140	0.50	4.71	0.08	4.79	1.71
21	40	7.5	140	0.49	4.79			
21	40	7.5	140	0.48	4.87			
22	20	7.5	155	0.47	4.94	0.08	5.02	1.56
22	20	7.5	155	0.46	5.02			
22	20	7.5	155	0.45	5.09			
23	20	10	170	0.46	3.73	0.02	3.71	0.53
23	20	10	170	0.47	3.69			
23	20	10	170	0.47	3.71			
24	20	5	170	0.69	4.94	0.07	5.01	1.34
24	20	5	170	0.68	5.07			
24	20	5	170	0.68	5.01			

Continúa:

25	30	7.5	155	0.42	5.29	0.04	5.25	0.79
25	30	7.5	155	0.43	5.24			
25	30	7.5	155	0.43	5.21			
26	30	7.5	140	0.40	5.42	0.04	5.37	0.83
26	30	7.5	140	0.41	5.37			
26	30	7.5	140	0.41	5.33			
27	20	5	140	0.66	5.26	0.06	5.33	1.15
27	20	5	140	0.65	5.33			
27	20	5	140	0.65	5.39			
Extracto				0.61	8.70	0.05	8.76	0.61
Extracto				0.60	8.80			
Extracto				0.60	8.78			

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

4. DPPH

❖ Elaboración de Solución Madre

Peso Trolox (g)	Masa molar (g/mol)	Riqueza (%)	Aforo metanol (mL)	Concentración Solución Madre (μM/L)
0.00625	250.29	97	25	968.88

$$\text{Concentración solución madre} = \frac{\text{Peso trolox} \times 10^9 \times \text{Riqueza}}{\text{Masa molar} \times \text{Aforo metanol} \times 100 \%}$$

❖ Elaboración de estándares para la curva de calibración

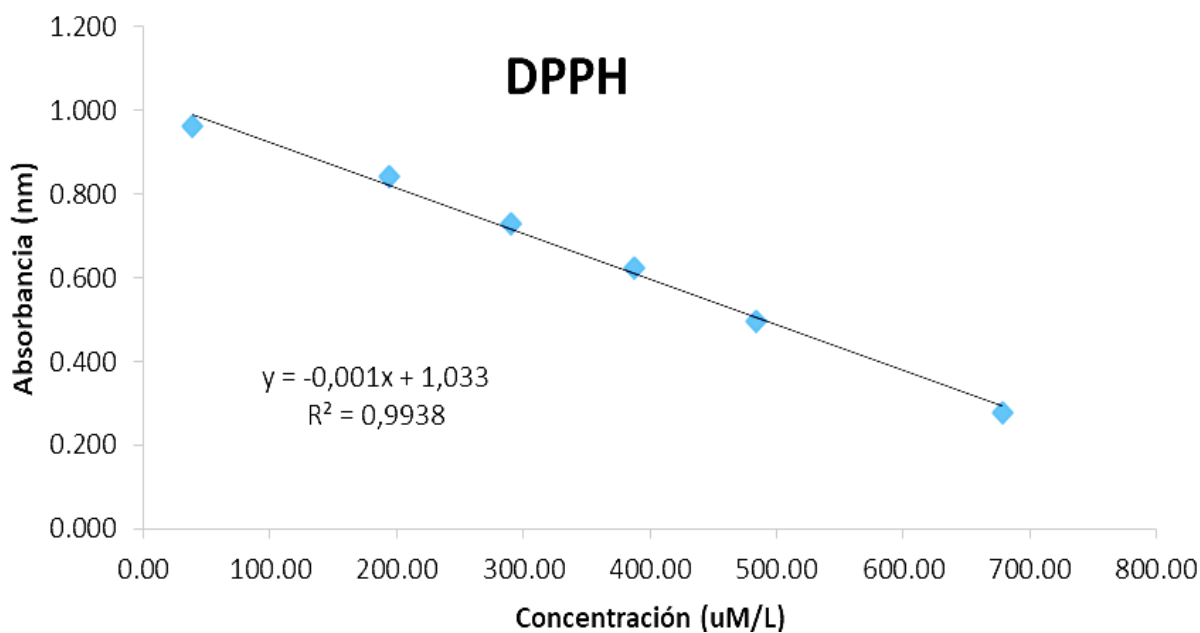
Curva de Calibración (Estándar 6.25 mg Trolox/ 25 mL Metanol). 515 nm						
Trolox (μM/L)	Alícuota de solución madre (mL)	Aforo metanol (mL)	Absorbancia Curva			Promedio
38.76	0.4	10	0.96	0.96	0.96	0.96
193.78	2	10	0.84	0.84	0.84	0.84
290.66	3	10	0.73	0.73	0.73	0.73
387.55	4	10	0.62	0.62	0.62	0.62
484.44	5	10	0.50	0.50	0.50	0.50
678.21	7	10	0.28	0.28	0.28	0.28

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

$$\text{Concentración Estándar} = \frac{\text{Alícuota de solución madre} \times \text{Concentración solución madre}}{\text{Aforo metanol}}$$

❖ **Curva de calibración**



Fuente: Autor
Elaboración: Autor

Pendiente: - 0.001

Intercepto: 1.033

R² = 0.9938

❖ **Cálculo del contenido de antioxidantes por 100 gramos de muestra, a partir de la curva de calibración**

$$DPPH = \left(\frac{\text{Absorbancia muestra} - \text{Intercepto}}{\text{Pendiente}} \times \frac{1}{1000} \right) \times \left(\frac{\text{Aforo de la muestra}}{\text{peso muestra}} \right)$$

Ejemplo: Cuantificación del extracto.

$$DPPH = \left(\frac{0.580 - 1.033}{-0.001} \times \frac{1}{1000} \right) \times \left(\frac{50 \text{ mL}}{1.67} \right)$$

$$DPPH = 13.56 \text{ uM Eq Trolox/g}$$

❖ Datos de DPPH. F_B = flujo de la bomba, S = Sólidos, T_o = temperatura de entrada, C_v = Coeficiente de variación.

Muestra	F_B (%)	S (%)	T_o (°C)	Absorbancia	$\mu\text{M ET/g}$ atomizado	Desviación estándar	Promedio	C_v (%)
1	20	10	140	0.98	3.01	0.08	3.09	2.59
1	20	10	140	0.73	3.09			
1	20	10	140	0.72	3.17			
2	40	10	140	0.72	2.66	0.08	2.58	3.10
2	40	10	140	0.77	2.58			
2	40	10	140	0.78	2.50			
3	40	5	170	0.78	2.82	0.17	2.99	5.68
3	40	5	170	0.89	3.00			
3	40	5	170	0.88	3.16			
4	40	7.5	170	0.88	4.81	0.11	4.92	2.30
4	40	7.5	170	0.67	4.92			
4	40	7.5	170	0.66	5.04			
5	40	7.5	155	0.66	1.84	0.13	1.97	6.78
5	40	7.5	155	0.90	1.96			
5	40	7.5	155	0.89	2.11			
6	40	5	140	0.88	7.26	0.18	7.22	2.54
6	40	5	140	0.67	7.02			
6	40	5	140	0.68	7.38			

Continua:

7	40	10	155	0.66	3.35	0.11	3.46	3.19
7	40	10	155	0.70	3.45			
7	40	10	155	0.69	3.57			
8	20	7.5	140	0.68	4.67	0.15	4.52	3.24
8	20	7.5	140	0.68	4.52			
8	20	7.5	140	0.69	4.37			
9	30	10	140	0.71	3.13	0.05	3.16	1.64
9	30	10	140	0.72	3.13			
9	30	10	140	0.72	3.22			
10	30	5	140	0.71	5.62	0.18	5.61	3.22
10	30	5	140	0.75	5.78			
10	30	5	140	0.74	5.42			
11	30	10	170	0.76	3.47	0.11	3.36	3.12
11	30	10	170	0.69	3.36			
11	30	10	170	0.70	3.26			
12	20	10	155	0.71	3.29	0.09	3.30	2.74
12	20	10	155	0.70	3.21			
12	20	10	155	0.71	3.39			

Continua:

13	30	7.5	170	0.69	4.59	0.12	4.59	2.62
13	30	7.5	170	0.69	4.71			
13	30	7.5	170	0.68	4.47			
14	20	7.5	170	0.70	4.29	0.12	4.41	2.72
14	20	7.5	170	0.71	4.41			
14	20	7.5	170	0.70	4.53			
15	40	5	155	0.69	6.40	0.17	6.59	2.65
15	40	5	155	0.71	6.74			
15	40	5	155	0.70	6.64			
16	40	10	170	0.70	3.93	0.09	3.93	2.17
16	40	10	170	0.64	4.01			
16	40	10	170	0.63	3.84			
17	30	5	170	0.65	4.68	0.19	4.87	3.91
17	30	5	170	0.80	4.86			
17	30	5	170	0.79	5.06			
18	30	10	155	0.78	3.83	0.09	3.82	2.36
18	30	10	155	0.65	3.91			
18	30	10	155	0.64	3.73			

Continua:

19	20	5	155	0.66	7.34	0.22	7.11	3.10
19	20	5	155	0.67	7.10			
19	20	5	155	0.68	6.90			
20	30	5	155	0.69	6.36	0.19	6.17	3.08
20	30	5	155	0.72	6.16			
20	30	5	155	0.73	5.98			
21	40	7.5	140	0.73	4.96	0.13	4.83	2.64
21	40	7.5	140	0.66	4.81			
21	40	7.5	140	0.67	4.71			
22	20	7.5	155	0.68	5.47	0.13	5.59	2.40
22	20	7.5	155	0.62	5.57			
22	20	7.5	155	0.62	5.73			
23	20	10	170	0.60	3.90	0.11	3.79	2.91
23	20	10	170	0.64	3.78			
23	20	10	170	0.66	3.68			
24	20	5	170	0.67	5.22	0.21	5.43	3.87
24	20	5	170	0.77	5.64			
24	20	5	170	0.75	5.42			

Continua:

25	30	7.5	155	0.76	4.23	0.13	4.36	2.92
25	30	7.5	155	0.72	4.48			
25	30	7.5	155	0.70	4.37			
26	30	7.5	140	0.71	3.84	0.08	3.75	2.16
26	30	7.5	140	0.75	3.71			
26	30	7.5	140	0.76	3.69			
27	20	5	140	0.76	6.10	0.19	6.29	3.02
27	20	5	140	0.73	6.48			
27	20	5	140	0.71	6.28			
Extracto				0.72	0.58	0.09	13.51	0.64
Extracto				0.60	0.58			
Extracto				0.60	0.59			

Fuente: Autor

Elaboración: Autor