



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA Y BIOMÉDICA

TÍTULO DE INGENIERO EN ALIMENTOS

**Optimización de las condiciones de atomización de antioxidantes
obtenidos de los subproductos de mango (*Mangifera indica* L.)**

TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORA: Macas Berrezueta, Geanella Lizbeth.

DIRECTOR: Meneses Chamba, Miguel Ángel, PhD.

LOJA – ECUADOR
2017



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>

Septiembre, 2017

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

PhD.

Miguel Ángel Meneses

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

Que el presente trabajo de titulación: **“Optimización de las condiciones de atomización de antioxidantes obtenidos de los subproductos de mango (*Mangifera indica* L.)”** realizado por Macas Berrezueta Geanella Lizbeth ha sido orientado y revisado durante la ejecución por lo que se aprueba la presentación del mismo.

Loja, 15 de febrero de 2017

f)
PhD. Miguel Ángel Meneses Chamba
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Macas Berrezueta Geanella Lizbeth declaro ser autora del presente trabajo de titulación: “Optimización de las condiciones de atomización de antioxidantes obtenidos de los subproductos de mango (*Mangifera indica* L.)”, de la Titulación Ingeniero en Alimentos, siendo el PhD. Miguel Ángel Meneses director 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 que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f.....

Macas Berrezueta Geanella Lizbeth

C.I.: 0706292372

DEDICATORIA

A mi madre, por su apoyo, comprensión, sacrificio, amor, por ser un pilar fundamental en mi vida en todo momento y sobre todo por creer en mí y brindarme la posibilidad de cumplir mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por brindarme la vida y las posibilidades para cumplir este sueño.

A mi madre, quien con su sacrificio y a pesar de la distancia siempre ha estado conmigo brindándome su apoyo en todo momento.

A mi hermana y sobrina quienes me han brindado apoyo durante este tiempo de estudios.

Al PhD. Miguel Ángel Meneses, quien como mi tutor supo brindarme principalmente su amplio conocimiento, el apoyo, la confianza, la paciencia y la ayuda necesaria para desarrollar satisfactoriamente mi trabajo de fin de titulación.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, en especial a la Titulación de Ingeniero en Alimentos por permitirme ser parte integral de la misma; al personal docente, ya que con su enseñanza y orientación han hecho posible la culminación de un noble propósito como es la formación profesional.

Finalmente agradezco a mis amigos por su apoyo y amistad verdadera.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORIA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
1. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
1.1. El Mango	4
1.1.1. Origen y clasificación botánica.	4
1.1.2. Estructura y composición nutricional del fruto.	4
1.1.3. Producción Mundial	6
1.2. Subproductos y sus compuestos bioactivos.....	7
1.3. Atomización.....	11
1.3.1. Estudios previos del atomizado	13
1.3.2. Agente Encapsulante.....	16
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. Propósito u objetivo general de la investigación	18
2.2. Componente u objetivo específico de la investigación	18
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Reactivos y equipos.....	20
3.1.1. Reactivos.....	20
3.1.2. Equipos utilizados.....	20
3.2. Materia prima y su caracterización	21
3.2.1. Determinación de humedad.....	21
3.2.2. Determinación de pH.....	21
3.2.3. Determinación de color.....	22
3.2.4. Determinación de acidez	22
3.2.5. Determinación de sólidos soluble totales	22
3.2.6. Determinación del Índice de madurez.....	22
3.3. Preparación de materia prima para extracción.....	23

3.3.1. Procesado de la fruta fresca para obtención de los subproductos (cortezas).....	23
3.3.2. Preparación de polvos tamizados.....	23
3.4. Extracción de antioxidantes para muestras frescas, escaldadas y polvos tamizados.....	24
3.5. Atomización.....	24
3.5.1. Extracción de antioxidantes.....	24
3.5.2. Proceso de atomización.....	25
3.5.3. Diseño experimental.....	26
3.6. Determinación de actividad antioxidante y fenoles totales.....	26
3.6.1. Método DPPH.....	27
3.6.2. Método ABTS.....	27
3.6.3. Método FRAP.....	27
3.6.4. Determinación de fenoles totales.....	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1. Caracterización de la materia prima.....	30
4.2. Actividad antioxidante y fenoles totales determinados para muestras frescas, escaldadas y polvos tamizados.....	31
4.3. Atomización.....	32
4.3.1. Actividad antioxidante y fenoles totales determinados para extractos antes de ser atomizados.....	32
4.3.2. Evaluación de producto atomizado.....	33
4.3.3. Rendimiento.....	36
4.3.4. Método DPPH.....	37
4.3.5. Método ABTS.....	38
4.3.6. Método FRAP.....	39
4.3.7. Fenoles totales.....	41
CONCLUSIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXOS.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mango (<i>Mangifera Indica</i> L.)	4
Figura 2. Estructura del mango	5
Figura 3. Variedad Tommy Atkins	7
Figura 4. Piel de mango	8
Figura 5. Esquema del proceso de secado por atomización	11
Figura 6. Formas de contacto aire caliente-gota	12
Figura 7. Polvos tamizados (250 – 200 µm)	23
Figura 8. Sobrenadantes combinados.....	24
Figura 9. Extracto rotaevaporado	25
Figura 10. Esquema de un Mini Spray Dryer BUCHI B-290	25
Figura 11. Polvos atomizados	34
Figura 12. Gráfica de efectos principales para rendimiento.....	36
Figura 13. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada.....	36
Figura 14. Gráfica de efectos principales para DPPH	37
Figura 15. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada.....	38
Figura 16. Gráfica de efectos principales para ABTS	39
Figura 17. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada.....	39
Figura 18. Gráfica de efectos principales para FRAP	40
Figura 19. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada.....	40
Figura 20. Gráfica de efectos principales para Fenoles totales	41
Figura 21. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes nutricionales del mango (en 100 g de pulpa fresca)	6
Tabla 2. Compuestos bioactivos presentes en cada parte de la fruta	9
Tabla 3. Compuestos fenólicos identificados en piel de mango (mg/kg en base seca)	10
Tabla 5. Estudios de secado por atomización	14
Tabla 6. Características físico- químicas de la muestra.....	30
Tabla 7. Resultados de la actividad antioxidante para extractos de muestras frescas, escaldadas y polvos tamizados	31
Tabla 8. Resultados de fenoles totales.....	31
Tabla 9. Resultados de la actividad antioxidante para extractos antes de ser atomizados	33
Tabla 10. Resultados de contenido de fenoles totales para extractos a atomizar	33
Tabla 11. Resultados de evaluación de productos atomizados	35
Tabla 12. Optimización de las condiciones de atomización	42
Tabla 13. Ecuaciones de segundo orden de cada variable respuesta	43
Tabla 14. Valores óptimos teóricos y el porcentaje de diferencia.....	43

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Diagrama de procesado de la fruta fresca para obtención de los subproductos (cáscaras).....	55
ANEXO 2. Diagrama de preparación de polvos tamizados.....	55
ANEXO 3. Diagrama de extracción de antioxidantes para muestras frescas, escaldadas y polvos tamizados	56
ANEXO 4. Diagrama de extracción de antioxidantes para atomizado.....	57
ANEXO 5. Proceso de atomización	59
ANEXO 6. Combinaciones propuestas por el diseño experimental.....	60
ANEXO 7. Análisis estadístico para las variables respuestas	61
ANEXO 8. Esquema de preparación de las diluciones para la curva estándar de trolox	64
ANEXO 9. Esquema para determinar la actividad antioxidante por el método DPPH, Curva de calibración y cálculos.....	65
ANEXO 10. Esquema para determinar la actividad antioxidante por el método ABTS, curva de calibración y cálculos	71
ANEXO 11. Esquema para determinar la actividad antioxidante por el método FRAP, Curva de calibración y cálculos.....	77
ANEXO 12. Esquema para determinar fenoles totales, curva de calibración y cálculos.	83
ANEXO 13. Valores óptimos teóricos y porcentajes de diferencia	88

LISTA DE ABREVIATURAS

EtOH	: Etanol absoluto
MeOH	: Metanol
DPPH	: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl
ABTS	: 2,2-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)
TPTZ	: 2,4,6-tripyridyl-s-triazine
TROLOX	:6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid
µMol ET/g ext	: Micromoles equivalentes de trolox/ gramo de extracto
mg EGA/100 g Ext	: Miligramos equivalentes de ácido gálico / 100 gramos de extracto.
µMol ET/g muestra BS	: Micromoles equivalentes de trolox/gramo de muestra base seca
mg EGA/100 g muestra Bs	: Miligramos equivalentes de ácido gálico / 100 gramos de muestra en base seca
mL	: Mililitro
g	:Gramo
mg	:Miligramo
µM	:Micromol
mg/L	:Miligramo por litro

RESUMEN

El aprovechamiento de los subproductos agroindustriales generados en la transformación de los frutos de mango (*Mangifera indica* L.) constituye una alternativa para generar valor agregado al trabajo agroindustrial. En el presente trabajo de investigación se realizó la extracción de los antioxidantes contenidos en la corteza y se llevó a cabo la atomización de los mismos, optimizando los parámetros de atomización de temperatura, flujo de aire, flujo de bomba y concentración de sólidos. Los resultados óptimos obtenidos fueron rendimiento 85.54%, actividad antioxidante 147.47, 260.42, 151.70 μM ET/g atomizado para DPPH, ABTS y FRAP respectivamente y fenoles totales 2900.95 mg EAG/100g atomizado. Las condiciones óptimas determinadas en el presente estudio fueron: 120°C, 426 L gas/hora, 2.5 ml líquido/min, 2% (p/v) concentración de sólidos. Mediante la tecnología de atomización se logró obtener antioxidantes en polvo de subproducto de mango.

Palabras claves: subproductos, antioxidantes, atomización, optimización.

ABSTRACT

The use of agroindustrial wastes produced in the industrialization of mango (*Mangifera indica* L.) has been considered for obtaining of value added products. The aim of this research was the atomization of antioxidant compounds by spray drying, evaluating the effect of temperature, gas flow, liquid flow rate and solid concentration. The results showing the higher atomization yield of 85.54%, antioxidant activity 147.47 (DPPH), 260.42 (ABTS), 151.70 (FRAP) $\mu\text{M TE/g}$ atomized and total phenol content of 2900.95 mg GAE/100 g atomized, corresponding to the optimized conditions of 120 °C, 426 L gas/ hora, 2.5 mL liquid/min and 2% (p/v) of solids concentration. The application of spray drying technology allows to obtain antioxidant in powder from industrial mango by products.

Keywords: byproducts, antioxidants, atomization, optimization.

INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es un fruto de consumo mundial y tercero entre los tropicales, es consumido comúnmente como fruta fresca, sin embargo, en la actualidad gracias a la industria alimentaria se lo ha tomado como materia prima para la elaboración de derivados como: néctares, conservas, jugos, mermeladas, gelatinas, cereales, fruta deshidratada, etc. (Saúco, 2009), estas transformaciones generan residuos biodegradables tanto líquidos como sólidos, solo en el despulpado se generan aproximadamente 193.32 toneladas/semana, representados en cáscara, semillas, restos de pulpa y fibra (Mejía, Albán, Murcia, Cuervo, & Durán, 2009). Estos residuos se los conoce como subproductos y debido a que la gran mayoría de industrias no cuentan con un plan para tratarlos, además del valor económico que les representa su reutilización, son usados como combustible, alimentación animal, y muchos se convierten en una fuente de contaminación (Alexandre y Targino Pinto Correia, 2010).

Según investigaciones realizadas por Martínez et al. (2012) hay evidencia de que estos subproductos presentan nutrimentos y compuesto que le dan funcionalidad, se conoce que las cáscaras y semillas de mango son una fuente natural de fibra dietaria, antioxidantes, vitaminas y minerales, además indica que sus extractos son ricos en compuestos fenólicos (González-Aguilar, Villegas-Ochoa, Cruz-Valenzuela, Vásquez, y Ayala-Zavala, 2006), por su parte R. M. Robles-Sánchez, Rojas-Graü, Odriozola-Serrano, González-Aguilar, y Martín-Belloso (2009) reportaron que el consumo de mango reduce el estrés oxidativo y los niveles de triglicéridos en plasma. Debido a estas características que se conocen de estos subproductos lo que se plantea en este trabajo de investigación es la atomización de los extractos de antioxidantes a partir del subproducto específicamente cáscara de mango, usando la tecnología de atomización o secado por aspersión para obtener productos o ingredientes en forma de polvo con buena calidad y baja actividad de agua, los cuales pueden ser productos ideales para la industria alimentaria ya que son fáciles de conservar, transportar, procesar, dosificar y utilizar (Miravet Valero, 2009; Tonon, Brabet, y Hubinger, 2008).

El desarrollo y la aplicación de lo propuesto en el proyecto beneficiaría a la industria proporcionándole un manejo sustentable para sus subproductos, además de generar un ingrediente alimenticio con elevada capacidad antioxidante que permitirá desarrollar nuevos productos como alimentos funcionales.

Los resultados obtenidos muestran que los extractos para atomizar tienen una buena actividad antioxidante usando etanol acuoso al 80% v/v como solvente de extracción. En cuanto a la optimización de las condiciones de atomización los resultados muestran que las variables que tienen efectos estadísticamente significativos ($p < 0.05$) sobre las variables respuesta fueron el flujo de bomba de alimentación y la concentración de sólidos, al aumentar ambas variables disminuye la actividad antioxidante, el contenido de fenoles totales y el rendimiento. Las condiciones óptimas, para cada una de las variables respuestas fueron diferentes, esto debido a la naturaleza de los antioxidantes y de los métodos empleados.

El capítulo 1 de este trabajo muestra una revisión de literatura de las características del fruto y de sus subproductos y sus compuestos bioactivos y fundamentos de la tecnología de atomización. El capítulo 2 muestra los objetivos tanto generales como específicos. El capítulo 3 describe los materiales y métodos utilizados en cada uno de los procesos desde la caracterización de la materia prima hasta la evaluación de los productos atomizados. Finalmente, en el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos en cada proceso de la investigación y la respectiva comparación con los resultados de datos bibliográficos.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. El Mango

1.1.1. Origen y clasificación botánica.

En términos taxonómicos el mango (figura1) pertenece al orden de las sapindales, familia Anacardiaceae, de género y especie *Mangifera Indica*, que consta de alrededor de 30 especies de árboles frutales tropicales. Es originario del norte de Birmania y noreste de la India, su llegada hasta América se dio por los portugueses y españoles a Brasil y México respectivamente (Saúco, 2009; Shah, Patel, Patel, y Parmar, 2010).



Figura 1. Mango (*Mangifera Indica*)
Fuente: La autora

1.1.2. Estructura y composición nutricional del fruto.

El mango está constituido (figura 2) externamente por el exocarpio (piel) el cual es grueso y fibroso, su color varía según la especie y el estado de madurez pudiendo ser verde, amarillo, rosa, rojo, púrpura o una combinación de estos. Internamente está constituido por un mesocarpio que es la parte comestible del fruto, la cual es resinosa y es variable con respecto a la forma, tamaño, color, presencia de fibra y sabor. Además, consta de una semilla recubierta por un endocarpio el cual es leñoso, grueso y fibroso, es ovoide, oblonga y alargada al igual que la fruta en sí, posee una testa delgada y de consistencia como el papel. Y cuenta con un seno llamado pedúnculo el cual está en el extremo del fruto. La longitud de la fruta puede variar de 25 a <30 cm, dependiendo de la variedad (Litz, 2009; Saúco, 2009).

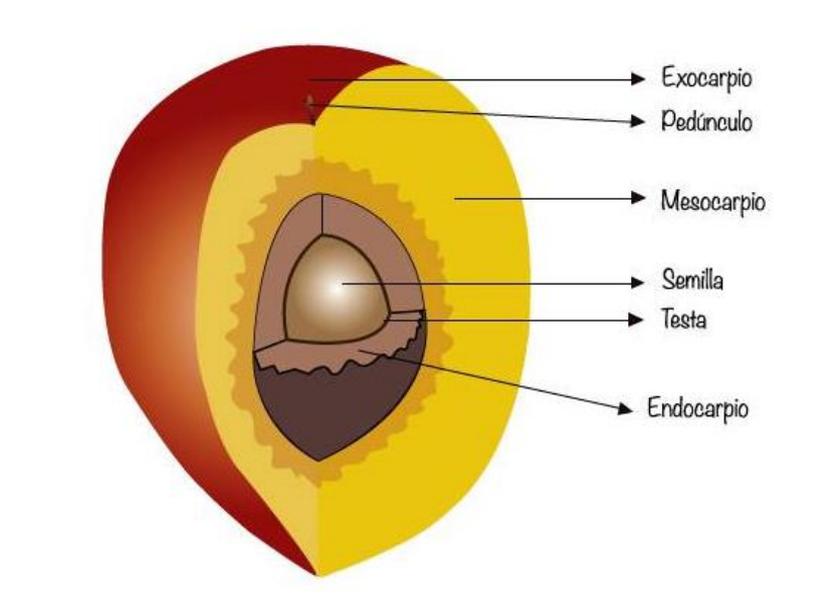


Figura 2. Estructura del mango
Elaboración: La autora

En cuanto al valor nutritivo que presenta el mango, según investigaciones realizadas por Martínez et al. (2012) indican que es una fuente importante de fibra dietaria y vitaminas. En el caso de la pulpa del mango esta presenta una concentración significativa de compuestos bioactivos tales como vitamina A, además de compuestos con una gran actividad antioxidante entre ellos la vitamina C, vitamina E, polifenoles, carotenos, entre otros, además de presentar una importante concentración de minerales como potasio y magnesio, también aporta pequeñas cantidades de hierro, fósforo y calcio. Así mismo, la pulpa del mango contiene fibra soluble (pectinas), ácidos orgánicos (cítrico y málico) y taninos (Sánchez et al., 2000). En la tabla 1 se puede observar algunos de los componentes nutricionales.

Tabla 1. Componentes nutricionales del mango (en 100 g de pulpa fresca)

Componentes	Contenido
Calorías (kcal)	60.00
Agua (g)	83.00
Proteínas (g)	0.40
Lípidos (g)	0.20
Carbohidratos (g)	15.90
Fibra (g)	1.00
Ceniza (g)	0.50
Calcio (mg)	17.00
Fosforo (mg)	15.00
Hierro (mg)	0.40
Tiamina (mg)	0.03
Riboflavina (mg)	0.04
Niacina (mg)	0.39
Ácido ascórbico (mg)	3.00
Vitamina B-6 mg	0.134
Vitamina E (α -tocoferol) mg	1.12
Vitamina K (filoquinona) μ g	4.20

Fuente: IICA (2007); Yahia (2011)

1.1.3. Producción Mundial

El mango es un fruto de consumo mundial. Según estadísticas de la FAO (2015) en el año 2014 la producción mundial estuvo alrededor de 28.8 millones de toneladas, la cual representa un 35% de la producción mundial de frutas tropicales. (Ashoush y Gadallah, 2011; Saúco, 2009).

Debido a la capacidad de adaptación del mango a diferentes regiones, climas y condiciones geográficas, este fruto se puede encontrar desde el sur de Asia, donde se originó, hasta América, en el que México, Brasil, Cuba, Perú y Colombia son sus mayores productores, según cifras y estimaciones de la Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO 2015).

En Ecuador la producción de mango se da principalmente en la provincia del Guayas con un porcentaje del 70%, se estima que se cuenta con una superficie de 7700

hectáreas, de las cuales 6500 están dedicadas a la exportación y las restantes a otros mercados o a la elaboración de jugos y concentrados de mango. Las variedades que se producen son Tommy Atkins (figura 3), Haden, Kent y Keitt (FME, 2000).



Figura 3. Variedad Tommy Atkins
Fuente: La autora

1.2. Subproductos y sus compuestos bioactivos

El mango es un componente básico en la dieta de muchos países en vías de desarrollo y su principal consumo es como fruta fresca, sin embargo gracias a la industria alimentaria se lo ha industrializado obteniendo productos tales como: néctares, conservas, jugos, purés, frutas desecadas, helados, productos congelados, etc. (Saúco, 2009). Como resultado de esta producción las industrias generan gran cantidad de subproductos tanto líquidos como sólidos. En relación al peso total de la fruta y de acuerdo a la variedad, los subproductos generados están en un rango del 35-60 %, y están constituidos por cáscara del 7- 24 % y semilla del 9-40%. (Berardini, Knödler, Schieber, y Carle, 2005; Schieber, Berardini, y Carle, 2003). Dichos subproductos están representando un problema ambiental ya que no se cuenta actualmente con un manejo adecuado de los mismos, sin embargo el desarrollo tecnológico en la actualidad ha hecho más fácil la recuperación, el reciclaje y la sostenibilidad de los residuos orgánicos, entre las formas de aprovechamiento de los subproductos más comunes están la producción de compostaje, producción de alimento animal de bajo valor agregado o como fertilizantes (Galanakis, 2012; Lima et al., 2011; Sumaya, Sánchez, Torres, y García, 2012).



Figura 4. Piel de mango
Fuente: La autora

Los avances en las investigaciones realizadas a los subproductos o comúnmente llamados biorresiduos revelan que estos también podrían ser usados en la industria alimentaria como fuente de pulpa seca, fibra, aceites esenciales, pectinas, oligosacáridos y grasas (Ajila y Prasada Rao, 2013; Larrauri, Rupérez, Borroto, y Saura-Calixto, 1996; Solís-Fuentes y Durán-de-Bazúa, 2004). Martínez et al. (2012) muestran que estos subproductos presentan nutrimentos y compuestos que les dan funcionalidad, se conoce que las cáscaras y semillas de mango son una fuente natural de fibra dietaria, antioxidantes, vitaminas y minerales, además se indica que sus extractos son ricos en compuestos fenólicos (González-Aguilar et al., 2006).

En el estudio realizado por Ajila y Prasada Rao (2013), se demostró que la fibra de la cáscara de mango (variedades “Raspuri” y “Badami”) presentaba un contenido de fenoles totales entre 81 a 295 mg/100 g en peso seco. Además, se identificaron fenoles asociados a la fibra que fueron ácido gálico, el ácido protocateico, el ácido siringico, el kaempferol, la quercetina, el ácido ferúlico y la rutina.

En la investigación de Berardini, Carle, y Schieber (2004) determinaron que la piel de la variedad Tommy Atkins es una fuente de flavonoides y xantonas glicósidas y galotaninos, por otro lado Ashoush y Gadallah (2011) indicaron que es una buena fuente de compuestos fitoquímicos, como: polifenoles, carotenoides, vitamina E, fibra dietética y vitamina C; y algunos compuestos individuales como: taninos, ácido gálico, cumarina, ácido elágico, vainillina, mangiferina, ácido ferúlico, ácido cinámico. En la tabla 2 se resumen los diferentes compuestos bioactivos presentes en cada parte de la fruta.

Tabla 2. Compuestos bioactivos presentes en cada parte de la fruta

Parte de la fruta	Compuesto Bioactivo
Pulpa	Ácido ascórbico y ácido dehidroascórbico
Pulpa	Carotenoides: B- caroteno, Z-caroteno, α -criptoxantina, violaxantina, luteoxantina, mutatoxantina, auroxantina
Pulpa, pedúnculo, semilla, cáscara, hojas, ramas	Polifenoles: mangiferina, isomangiferina, homomangiferina, quercetina, kaempferol, antocianinas
Pulpa, cáscara, semilla, núcleo interno de la semilla	Ácidos fenólicos: gálico, protocatequico, ferúlico, caféico, cumárico, elágico, 4-cafeoilquínico
Cáscara, savia	Otros fenoles
Cáscara, semilla, pulpa	Fibra
Pulpa, cáscara, savia	Terpenoides: α -pineno, β -pineno, β -mirceno, limoneno, cisocimeno, trans-ocimeno, terpineol, α -guaieno, camfeno, fencheno, α -humuleno y otros (lactonas, aldehídos, ácidos, sesquiterpenos, esterés y alcoholes alifáticos)
Pulpa, cáscara, semilla, corteza del pedúnculo	Minerales: potasio, cobre, zinc, manganeso, hierro, selenio

Fuente: S. M. R. Ribeiro y Schieber (2010)

Los compuestos fenólicos son considerados compuestos antioxidantes, ya que tienen la capacidad de retrasar o prevenir la oxidación del sustrato, muchos estudios han demostrado que dichos compuestos reducen la oxidación *in-vitro* de lipoproteínas de baja densidad y/o atrapan los radicales libres responsables de la oxidación lipídica y del daño celular (Halliwell y Gutteridge, 1995; Moure et al., 2001). En la tabla 3 se pueden observar los compuestos fenólicos identificados en la piel de mango.

Tabla 3. Compuestos fenólicos identificados en piel de mango (mg/kg en base seca)

Compuesto	Cantidad
Mangiferina	1690.4 ± 134.8
Isomangiferina	134.5 ± 1.9
Mangiferina galato	321.9 ± 24.4
Isomangiferina galato	82.0 ± 7.8
Quercetina 3-O- galactósido	651.2 ± 44.1
Quercetina 3-O- glucósido	557.7 ± 39.7
Quercetina 3-O- xilósido	207.3 ± 14.3
Quercetina 3-O- arabinopiranosido	101.5 ± 10.0
Quercetina 3-O- arabinofuranósido	103.6 ± 8.0
Quercetina 3-O- ramnósido	20.1 ± 1.5
Quercetina 3-O- glucósido	36.0 ± 2.2
Quercetina 3-O- galactósido/ glucósido	94.4 ± 6.3
Quercetina	65.3 ± 7.1
Ácido eleágico	n.d.
Total	4066,0 ± 151,1

Fuente: Berardini, Knödler, et al. (2005)

La presencia de muchos de estos compuestos bioactivos en el mango brindan beneficios en la salud, según M. Robles-Sánchez et al. (2007) reducen el estrés oxidativo y los niveles de triglicéridos en plasma, previenen enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Lim, Lim, y Tee, 2007; Manach, Williamson, Morand, Scalbert, y Rémésy, 2005).

La capacidad funcional que presentan los subproductos, por ser ricos en compuestos bioactivos, ha generado que se realicen estudios como fuente natural y alternativa de antioxidantes para uso en alimentos, tales como galletas, aceites vegetales, papas fritas, mantequilla de búfalo (Abdalla, Darwish, Ayad, y El-Hamahmy, 2007; Ajila, Leelavathi, y Prasada Rao, 2008; Arogba, 1999; Ortega León, 2015; Puravankara, Boghra, y Sharma, 2000).

Para llevar a cabo el aprovechamiento de los subproductos es importante conocer si constituyen una buena fuente de compuestos bioactivos, lo cual se evidencia por las investigaciones realizadas, en conocimiento de esto se debe separar los compuestos

bioactivos presentes, y a través de las diferentes tecnologías se les da un tratamiento que permita así generar un valor agregado al trabajo agroindustrial.

1.3. Atomización

El secado por atomización o conocido también como secado por aspersion es una operación unitaria, que es capaz de transformar una disolución, una emulsión, una suspensión o una dispersión líquida en un producto totalmente seco. En esta operación la solución líquida se atomiza en una corriente de gas caliente que generalmente es aire, en donde las partículas caen en forma de finas gotas que al estar en contacto con este gas evaporan el agua reduciendo su tamaño (figura 5) para obtener instantáneamente un polvo seco (Angeles Martinez, 2009; Miravet Valero, 2009).

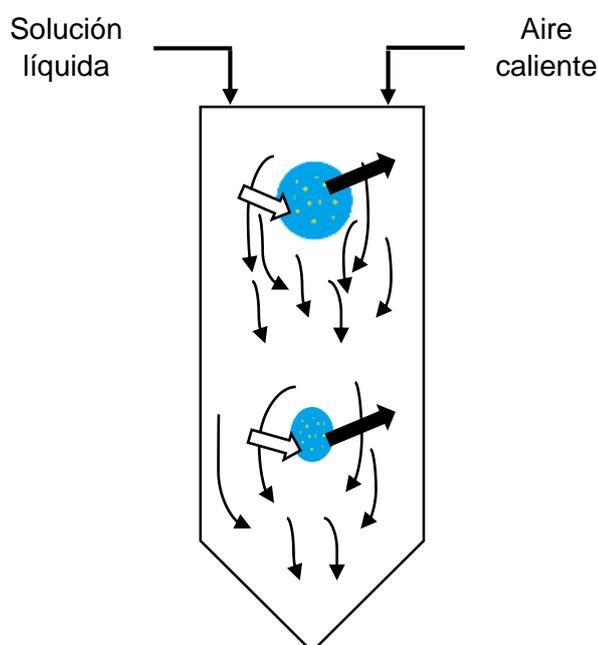


Figura 5. Esquema del proceso de secado por atomización
Elaboración: La autora

La atomización es usada en la industria alimentaria, para alimentos como leche, suero, zumos de frutas, cafés solubles, entre otros, y también es usado para el secado de productos agro-químicos, biotecnológicos, químicos, fármacos, ya que se obtienen polvos de buena calidad, baja actividad de agua, haciéndolos productos de fácil manejo y transportación (Alamilla, 2001).

De forma general el secado por aspersion consiste en cuatro etapas, que son:

a. Atomización de la solución

Esta operación consiste en dispersar un líquido en pequeñas gotas finas y se puede llevar a cabo empleando diversas formas de energía, mientras más alta es la energía

para la dispersión, más pequeñas son las gotitas generadas. En esta etapa se crea una superficie máxima posible de transferencia de calor entre el aire seco y el líquido con el fin de lograr la evaporación y optimizar la transferencia de masa. Cuanto más pequeñas sean las gotas, mayor la superficie y más fácil la evaporación y consecuentemente una mayor eficiencia térmica (Masters, 1985; Mujumdar, 1995).

b. Contacto aire caliente-gota

Cuando el líquido es atomizado dentro de la cámara de secado la gota se pone en contacto con el aire y sigue la trayectoria de la corriente de aire. Existen tres formas (figura 6) básicas de contacto con el aire caliente-gota de acuerdo con la posición del atomizador en comparación con el distribuidor de aire caliente y estas son flujo en paralelo o co-corriente, flujo en contracorriente y mixto (Filková, Huang, y Mujumdar, 2006).

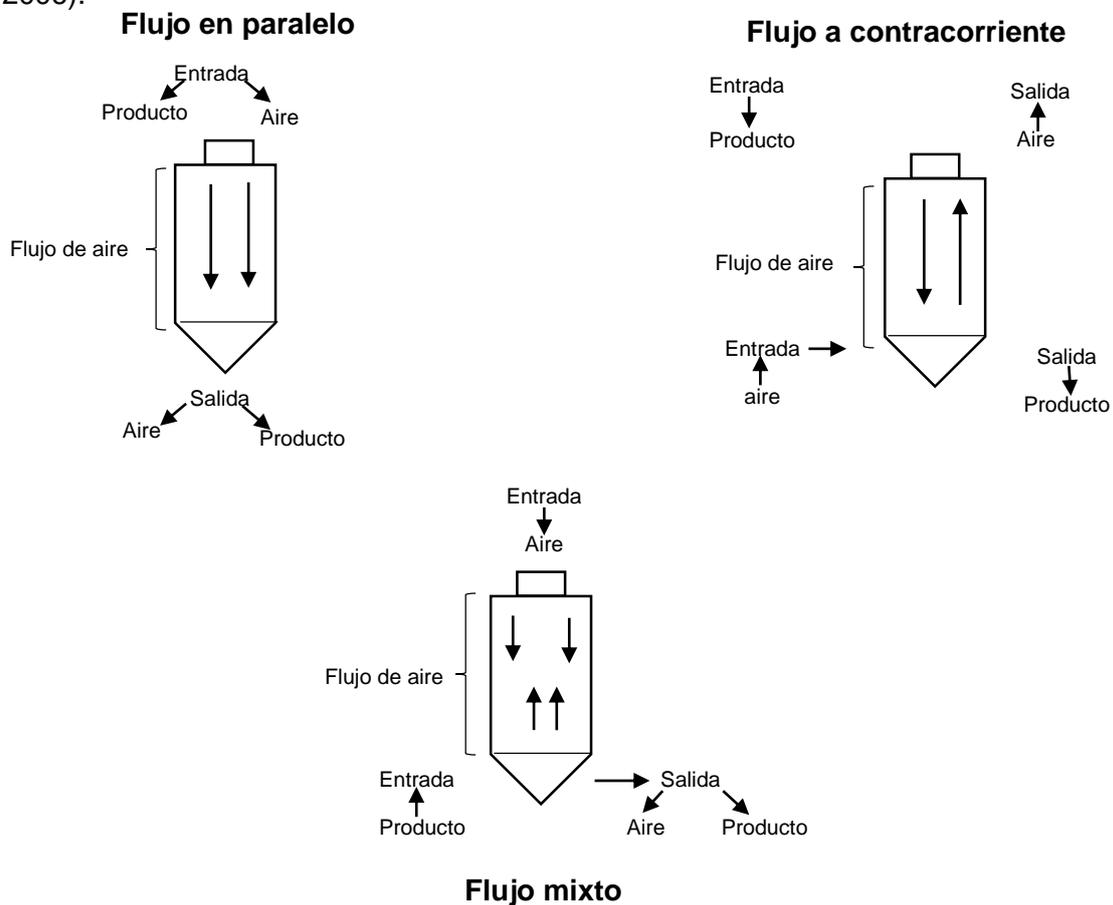


Figura 6. Formas de contacto aire caliente-gota
Elaboración: La autora

c. Evaporación del agua

Como el aire dentro de la cámara es previamente calentado a la temperatura de secado requerida se produce transferencia de calor hacia la gota y transferencia de masa hacia

el aire, debido a lo cual se evapora el agua contenida en la dilución atomizada, la velocidad de secado y el tiempo requerido para el secado dependen de la temperatura del aire de secado, el coeficiente de transferencia de calor, y el diámetro de la gota a secar (Alamilla, 2001).

d. Recuperación del producto

Esta es la fase en la cual se lleva a cabo el paso de las partículas y el aire que las acompaña a través de un compartimiento con una forma característica denominado ciclón. Dentro del ciclón la fuerza centrífuga se utiliza para mover las partículas hacia la pared y para separarlas del aire alrededor del eje. El aire y las partículas avanzan formando una espiral hacia abajo del ciclón. De acuerdo con las fuerzas de inercia las partículas se separan del aire al chocar con la pared del ciclón. Estos ciclones tienen un vaso de recogida en su parte inferior que recibe las partículas. Por la parte superior del ciclón sale el flujo de aire limpio que ya no contiene partículas de producto siguiendo un sentido ascendente (Masters, 1985).

1.3.1. Estudios previos del atomizado

En la actualidad la tecnología de atomización está siendo base de muchas pruebas y estudios en diferentes matrices o productos, en la tabla 5 se muestran algunos de los estudios realizados usando esta tecnología.

Tabla 4. Estudios de secado por atomización

Estudio	Condiciones estudiadas	Rendimiento de atomizados	Referencia
Optimización del secado por aspersión de mucílago de pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i>) en función de sus propiedades reológicas.	Temperatura de entrada 130-170°C y flujo de alimentación de 2.2 a 3.6 L/h y la velocidad del atomización de 16000 a 22000 rpm.	Temperatura de aire de entrada 130 °C, flujo de alimentación de 2.9 L/h, y Velocidad de atomización de 19000 rpm.	García Cruz (2011)
Secado por atomización del jugo de la caña de azúcar	Temperatura de entrada de aire 130-140°C y concentración de jugo 40-45-50°Brix.	Temperatura de aire de entrada 130°C, temperatura de aire de salida 85°C, con 40°Brix, rendimiento 60.18%	Guzmán Gil y Castaño Castrillón (2002)
Efecto térmico del secado por aspersión sobre los metabolitos antioxidantes de la Curuba Larga (<i>Passiflora mollisima baley</i>).	Velocidad de aspersión 22000 rpm, temperatura de entrada del aire seco 170 °C y temperatura de salida del aire 90 °C.	Con el secado por aspersión la actividad antioxidante determinada con las técnicas DPPH, ABTS Y ORAC se redujo en un 22.7, 15.8 y 17.9 %, respectivamente.	Zapata, Rojano, y Cortes (2015)
Secado por atomización de zumo de granada.	Temperatura de entrada 120°C y 200°C. Caudal atomizado 10-90%	Temperatura de entrada 160°C y caudal atomizado 10%.	Miravet Valero (2009)

Optimization of spray drying conditions for lulo (<i>Solanum quitoense</i> L.) pulp	Temperatura de entrada 120-180°C, concentración de goma arábica 0-10% p/p, concentración de maltodextrina 0-10% p/p	Temperatura de entrada 160°C, concentración de goma arábica 6.5% y concentración maltodextrina 9%	Igual, Ramires, Mosquera, y Martínez-Navarrete (2014)
--------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------

1.3.2. Agente Encapsulante

El secado por atomización es aplicable a materiales sensibles al calor, ya que reduce la posibilidad de degradación por oxidación y que sufran pérdida de aromas, generalmente para este método de secado se usa materiales encapsulantes como gomas naturales, almidones modificados o sus mezclas, los cuales son solutos de alto peso molecular, la finalidad de encapsular es atrapar los ingredientes sensibles, tales como compuestos volátiles de los aromas, en un soporte sólido para incrementar su protección, reducir su evaporación, facilitar su manipulación y controlar su liberación durante la conservación y aplicación (Gouin, 2004; Reineccius, 2004; Vega-Mercado, Marcela Góngora-Nieto, y Barbosa-Cánovas, 2001).

La goma arábica es una exudación gomosa seca que se obtiene del árbol de Acacia perteneciente a la familia de las leguminosas, este agente encapsulante presenta muchas características que nos permite usarla en diferentes tipos de productos, entre estas tenemos: habilidad para encapsular aromas, sabores, pesticidas, fármacos, capacidad para enlazar moléculas de agua y grasa (propiedades emulsificantes), efecto sobre la reología y su textura; capacidad para formar geles y efectos sobre la cristalización (Beristain, Azuara, Garcia, y Vernon-Carter, 1996).

En la investigación de Naddaf, Avalo, y Oliveros (2012), se usó como encapsulante la goma arábica en el jugo de naranja al 2.5% p/p respecto al peso total de jugo, y los resultados obtenidos determinaron que este encapsulante brindó mayor protección a los azúcares y vitamina C.

2. OBJETIVOS

2.1. Propósito u objetivo general de la investigación

Facilitar la transformación industrial de ingredientes bioactivos inocuos, como los antioxidantes de los subproductos del mango (*Mangifera indica* L.) mediante tecnología de atomización.

2.2. Componente u objetivo específico de la investigación

- ❖ Obtener extractos con alta capacidad antioxidante a partir de subproductos de mango.
- ❖ Optimizar la recuperación de antioxidantes en forma de polvo obtenidos por atomización.
- ❖ Evaluar la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales de los extractos en forma de polvo luego del proceso de atomización.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Reactivos y equipos

3.1.1. Reactivos

❖ Solventes para extracción:

Etanol, metanol, acetona, agua destilada, ácido clorhídrico 37%.

❖ En atomización:

Goma arábica grado alimenticio (Tecnoaustral).

❖ Actividad antioxidante:

Método ABTS: 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (Sigma), persulfato de potasio (Sigma-Aldrich), ácido 6-hidroxi-(2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico), trolox (Aldrich Chemistry).

Método DPPH: 2,2-difenil-2-picrilhidrazilo (Sigma), ácido 6-hidroxi-(2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico), trolox (Aldrich Chemistry).

Método FRAP: 2, 4, 6-tri-(2piridil-s-triazina) (TPTZ) (Sigma), acetato de sodio trihidratado, cloruro de hierro hexahidratado (Merck), ácido clorhídrico (Sigma-Aldrich), ácido acético glacial (Merck), ácido 6-hidroxi-(2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico), trolox (Aldrich).

Método Fenoles totales: Folin-Ciocalteu 2N (Sigma-Aldrich), carbonato de sodio anhidro p.a. (Merck), ácido gálico monohidratado (Sigma).

3.1.2. Equipos utilizados

- ❖ Estufa de tiro forzado Coler Parmer
- ❖ Estufa de vacío Lab Companion OV-12
- ❖ Molino de discos Oster
- ❖ Juego de tamices FRITSCH GMBH
- ❖ Balanza analítica Ohaus Analytical *Plus* AP250D
- ❖ Refractómetro Mettler Toledo
- ❖ pH-metro digital Mettler Toledo
- ❖ Agitador magnético
- ❖ Agitador horizontal GFL 3018
- ❖ Rotavapor Buchi R-200
- ❖ Espectrofotómetro Visible 6400 Jenway
- ❖ Micropipetas Boeco
- ❖ Mini Spray Dryer BUCHI B-290

- ❖ Centrifuga CLAY ADAMS Brand DYNAC 0101 (Becton, Dickinson and Company, MD, USA)
- ❖ Colorímetro móvil CR-14 Konica Minolta

3.2. Materia prima y su caracterización

Esta investigación se realizó en el laboratorio de alimentos de la Universidad Técnica Particular de Loja, durante el mes de noviembre del 2015 hasta el mes de abril del 2016. Como materia prima se utilizaron frutos de mango de variedad Tommy Atkins procedentes de la provincia de Guayas cantón Durán.

La caracterización de la materia prima se realizó con la finalidad de estandarizar la práctica en la industria y con esto minimizar el efecto de los cambios físicos, fisiológicos y químicos sobre los resultados; los análisis realizados fueron: humedad, pH, color, acidez, °Brix e índice de madurez, como se detallan a continuación:

3.2.1. Determinación de humedad

El contenido de humedad del mango fresco se determinó en base a la técnica AOAC 934.06 (Horwitz y Latimer, 2005). Este método gravimétrico fue realizado en una estufa a vacío; aproximadamente se pesaron 5 g de muestra en una cápsula de porcelana y fue llevada a 70°C ± 1°C (13.3 KPa) y se mantuvo hasta alcanzar peso constante. Para cada verificación de peso se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron nuevamente, se realizó este procedimiento para la pulpa y corteza por separado, el resultado se obtuvo por diferencia de pesos, como lo muestra la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100 \quad \text{Ec. (1)}.$$

El análisis se realizó por triplicado y el resultado se expresó como el valor promedio ± desviación estándar.

3.2.2. Determinación de pH

Para determinar el pH de las muestras se siguió el procedimiento de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 389 (INEN,1985), para esta determinación se usó un pH-metro digital, previamente calibrado con buffer pH 4.01 – 7.00. Se pesaron 10 g de muestra fresca de mango y se mezclaron con 100 ml de agua, se introdujo el pH- metro digital y se midió, todas las medidas se realizaron por triplicado y a temperatura ambiente (24°C), el resultado se expresó como valor promedio ± desviación estándar.

3.2.3. Determinación de color

Para determinar el color de las muestras se utilizó un colorímetro con sensor óptico en el sistema Yxy, que luego fueron transformadas al sistema de color CIE, L*, a*, b*. El ángulo de tono (h°) y el croma (C*) fueron calculados según las ecuaciones:

$$h^{\circ} = \arctg \frac{b^*}{a^*} \text{ Ec. (2).}$$

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \text{ Ec. (3).}$$

En donde L* es la coordenada espacial que indica la luminosidad 0 para negro y 100 para blanco, a* el cambio entre rojo y verde (+ a indica rojo, - a indica verde) y b* el cambio entre azul y amarillo (+ b indica amarillo, - b indica azul, a partir de estas coordenadas de color se determinaron las magnitudes psicofísicas croma C* que indica la intensidad de color y h° que indica la percepción de color (Salinas-Hernández, González-Aguilar, y Tiznado-Hernández, 2015) .

3.2.4. Determinación de acidez

Para la determinación de acidez titulable se siguió el procedimiento descrito en el método oficial AOAC 942.15 (Horwitz y Latimer, 2005), para el cual se utilizaron 5 g de muestra diluidos en 25 mL de agua destilada, y se adicionaron 4 gotas de fenolftaleína, se homogenizó y esta mezcla se tituló con hidróxido de sodio 0.1 N, hasta alcanzar un pH de 8.3 (viraje de la fenolftaleína). El porcentaje de acidez se expresó como porcentaje de ácido cítrico (ácido predominante) utilizando la ecuación:

$$\% \text{ Acidez} = \frac{\text{Volumen de hidroxido gastado} * \text{Normalidad real} * \text{meq del ácido cítrico} * 100}{\text{Peso de muestra} * 0.1} \text{ Ec. (4).}$$

3.2.5. Determinación de sólidos soluble totales

Para esta determinación se utilizó un refractómetro, colocando de 1 a 2 dos gotas del zumo de mango y midiendo en la escala superior el índice de refracción, el resultado se expresó según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 380 (INEN, 1985) como °Brix.

3.2.6. Determinación del Índice de madurez

Para determinar el índice de madurez según como está definido del cociente entre °Brix y la acidez titulable, se usaron los resultados anteriores para su determinación y se usó la siguiente ecuación:

$$IM = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{\% \text{Acidez}} \text{ Ec. (5)}$$

3.3. Preparación de materia prima para extracción

3.3.1. Procesado de la fruta fresca para obtención de los subproductos (cortezas).

La materia prima fue desinfectada mediante lavado con una solución de hipoclorito a una concentración de 80 ppm durante un tiempo de 3 min (Garmendia y Méndez, 2006), luego se realizó un escaldado a temperatura de ebullición (T 100°C) por 3 min (Paltrinieri, Marco, y de Marco R Meyer, 1989), las cortezas se cortaron en tiras de aproximadamente 5 cm, y seguido se fueron retirando y separando los excesos de pulpa adherida. El diagrama del proceso se muestra en el Anexo 1.

3.3.2. Preparación de polvos tamizados.

La deshidratación de los subproductos se realizó en una estufa de convección forzada a una temperatura de 60 °C hasta alcanzar una humedad menor al 10% durante 17 horas (Oti-Boateng, P y Barrie, A, 1998), y se almacenaron en congelación para después realizarles una reducción de tamaño de partícula usando un molino de cuchillas, trabajando en ciclos de 100 g de muestra por 30 segundos por las altas velocidades de corte entre cuchilla y partícula para evitar que se produzca un estrés térmico y la muestra se deteriore. Una vez terminada la reducción de tamaño de partícula se tamizó utilizando tamices metálicos, la fracción utilizada tuvo un tamaño de partícula entre 250 – 200 µm (figura 7) (Pérez-Jiménez y Saura-Calixto, 2007), finalmente las muestras se almacenaron en fundas plásticas a temperaturas de -20°C hasta su análisis. El diagrama del proceso se muestra en el Anexo 2.



Figura 7. Polvos tamizados (250 – 200 µm)
Fuente: La autora

3.4. Extracción de antioxidantes para muestras frescas, escaldadas y polvos tamizados

Esta extracción se realizó por extracción sólido-líquido como se describe en literatura (Pérez-Jiménez y Saura-Calixto, 2007), con variación en el peso de la muestra, se pesaron 2.5 g de muestra y se adicionaron 20 mL de metanol/agua (50:50 v/v) acidificados con HCl 2N (pH 2), esta mezcla se agitó en un agitador horizontal durante 1h. Se centrifugó y se separó el sobrenadante, mientras que al residuo se le realizó una segunda extracción con 20 mL de acetona/agua (70:30 v/v) y se volvió a agitar durante 1h. Tras centrifugar, ambos sobrenadantes (figura 8) se combinaron. El diagrama del proceso se muestra en el Anexo 3.



Figura 8. Sobrenadantes combinados
Fuente: La autora

3.5. Atomización

3.5.1. Extracción de antioxidantes

Esta extracción se realizó por extracción sólido- líquido como se describe en literatura (Schieber, Berardini, & Carle, 2003), con algunas modificaciones, se pesaron 100 g de polvo de subproducto de mango y se le adicionó la solución acuosa de etanol al 80% v/v en relación 1:10 (peso/volumen) de acuerdo al peso del subproducto, se adicionó 1 g de ácido ascórbico y se agitó en un agitador magnético por 6 h a temperatura ambiente (T 25 °C), se centrifugó por 15 min a 2800 rpm y se separó el sobrenadante, mientras que el residuo fue usado en una segunda extracción con etanol a las mismas condiciones y en la misma relación, se agitó en un agitador magnético por media hora y se centrifugó, los sobrenadantes se unieron, y los residuos se guardaron en congelación. El etanol contenido en los extractos se evaporó (figura 10) en un rotaevaporador al vacío a una temperatura entre 45- 50°C. El diagrama del proceso se muestra en el Anexo 4.

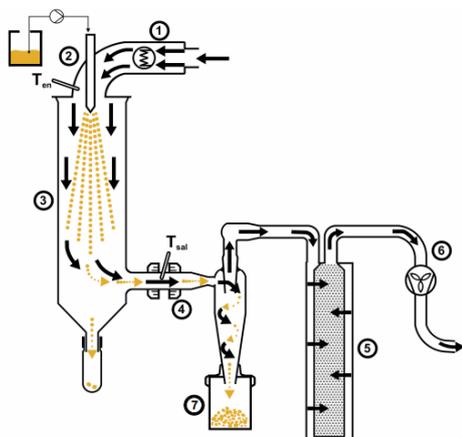


Figura 9. Extracto rotaevaporado
Fuente: La autora

Se establecieron tres concentraciones de sólidos solubles 10, 6 y 2 % para los extractos acuosos. El material encapsulante usado fue goma arábica, esta se adicionó según el contenido de sólidos de los extractos acuosos en una relación 1:2 (peso/peso), por lo tanto, los polvos únicamente contienen 33.33% de extracto. Los polvos obtenidos de los diferentes tratamientos aplicados fueron empacados al vacío en fundas laminadas y almacenados en refrigeración, para los análisis posteriores. El diagrama del proceso se muestra en el anexo 5.

3.5.2. Proceso de atomización

La atomización se llevó a cabo en un Mini Spray Dryer (BUCHI B-290), este equipo funciona en flujo paralelo, es decir, el producto pulverizado y el aire seco se desplazan en el mismo sentido, obteniendo partículas en un rango que varía ente 1-25 μm . En la figura 11 se muestra el esquema del equipo y la descripción de cada uno de sus componentes.



1. Calefacción eléctrica, calienta el aire de entrada, a través de una resistencia eléctrica
2. Tobera (1.5 mm) con sistema de inyector, para la dispersión de la solución en forma de gotas finas.
3. Cámara de secado, recibe el producto atomizado por la tobera o boquilla. El cilindro de pulverización sirve de enlace entre la entrada de producto atomizado y aire, y el ciclón.
4. Ciclón para separar el producto (polvo) de la corriente de aire.
5. Filtro de salida, para limpiar el aire de partículas finas.
6. Aspirador, el cual genera la corriente de aire necesaria para el secado
7. Recogedor de atomizado.

Figura 10. Esquema de un Mini Spray Dryer BUCHI B-290
Elaboración: La autora

3.5.3. Diseño experimental

Se usaron como variables independientes la temperatura de entrada 120-160 °C, flujo de solución 2.5 – 12.5 mL/min expresado como porcentaje de bomba 10 - 40%, concentración de sólidos en solución 2, 6 y 10% p/v y flujo de aire 246 – 473 L gas/hora que expresado como altura del rotámetro 20-40 mm.

Para estudiar el efecto de estas variables se usó la metodología de superficie de respuesta, con un diseño Droper-Lin, diseño experimental cuadrático centrado en las caras con una réplica y tres puntos centrales, el mismo que propuso 38 combinaciones que se muestran en el Anexo 6. Además, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 95% ($p < 0.05$) y gráficas de efectos principales y de contornos de la superficie de respuesta estimada, para cada una de las variables respuestas. Todo este análisis se realizó en el software Statgraphics 16.1 ®.

3.6. Determinación de actividad antioxidante y fenoles totales

Para determinar la actividad antioxidante se emplearon tres métodos: DPPH, ABTS y FRAP con la finalidad de obtener un mejor conocimiento de la actividad antioxidante contenida en las muestras; en el caso del ensayo de fenoles totales se realizó para evaluar el índice global de compuestos antioxidantes (Pérez-Jiménez y Saura-Calixto, 2007).

Para realizar las curvas de calibración de los métodos que determinaron actividad antioxidante se usó como estándar de referencia el reactivo trolox en concentraciones de 25, 50, 100, 200, 400, 600 y 800 μM y para fenoles totales ácido gálico en concentraciones de 0, 9.75, 19.5, 39, 58.5, 78, 97.5, 117, 136.5, 156 mg AG/L.

Se usaron los mismos métodos para los extractos de las muestras frescas, escaldadas, polvos tamizados y polvos atomizados, los resultados se expresaron en μM ET/g muestra BS, mg EAG/100g muestra BS, μM ET/g de extracto, mg GAE/100g de extracto y μM ET/g atomizado y mg GAE/100g de atomizado.

El esquema de preparación de las diluciones para hacer la curva de calibración de trolox se muestra en el anexo 8.

Las curvas de calibración fueron realizadas una diferente para cada análisis en todos los métodos.

3.6.1. Método DPPH

El ensayo de DPPH se realizó siguiendo la técnica descrita por Brand-Williams, Cuvelier, y Berset (1995), con algunas modificaciones descritas por Thaipong, Boonprakob, Crosby, Cisneros-Zevallos, y Byrne (2006). Se preparó una solución de DPPH con absorbancia de 1.1 ± 0.02 unidades a una longitud de onda de 515 nm en un espectrómetro UV. Se usó la curva estándar de trolox con las concentraciones entre 25 – 800 μM . De cada concentración, así como de cada muestra se tomaron 150 μL , se adicionaron 2.85 mL de la solución de DPPH se homogenizó y se dejó reaccionar por 24 horas a temperatura ambiente y en la oscuridad, una vez transcurridas las 24 horas se midió absorbancia a una longitud de onda de 515 nm. El esquema, un ejemplo de la curva de calibración obtenida y los cálculos para este método se muestran en el Anexo 9.

3.6.2. Método ABTS

Se empleó la técnica de Arnao, Cano, y Acosta (2001) con algunos ajustes descritos por Thaipong et al. (2006). Para este método se prepararon dos soluciones: ABTS (7.4mM) y persulfato de potasio (2.6 mM), la mezcla de estas dos soluciones se denominó solución madre de ABTS la cual tiene un tiempo de reacción de 12 horas previas a su uso, se preparó la solución de trabajo para la cual se mezcló 1 mL de solución madre con aproximadamente 60 ml de MeOH hasta obtener una lectura en absorbancia de 1.1 ± 0.02 unidades a una longitud de onda de 734 nm en un espectrómetro UV. De cada concentración, así como de cada muestra se tomaron 150 μL , se adicionaron 2.85 mL de la solución trabajo de ABTS y se dejó reaccionar por 2 horas a temperatura ambiente y en la oscuridad, una vez transcurridas las 2 horas se midió absorbancia a una longitud de onda de 734 nm. El esquema, un ejemplo de la curva de calibración obtenida y los cálculos para este método se muestran en el Anexo 10.

3.6.3. Método FRAP

Este método se realizó siguiendo la técnica descrita por Benzie y Strain (1996) con algunas modificaciones descritas por Thaipong et al. (2006). Se prepararon tres soluciones: (A) buffer acetato pH 3.6, (B) solución TPTZ y (C) solución de cloruro férrico estas se mezclaron en cantidades de 25, 2.5 y 2.5 mL respectivamente y se calentó la mezcla a 37°C para obtener la solución de trabajo. Se usó la curva estándar de trolox con las concentraciones entre 25 – 800 μM . De cada concentración, así como de cada muestra se tomaron 150 μL , se adicionó 2.85 mL de la solución trabajo de FRAP y se dejó reaccionar por 30 min a temperatura ambiente y en la oscuridad, una vez transcurridas los 30 min se midió absorbancia a una longitud de onda de 593 nm. El

esquema, un ejemplo de la curva de calibración obtenida y los cálculos para este método se muestran en el Anexo 11.

3.6.4. Determinación de fenoles totales

En la determinación de la concentración de fenoles totales se utilizó el método de Folin-Ciocalteu, adaptado por Swain y Hillis (1959) y modificado por Thaipong et al. (2006). Se preparó una solución a 0.25 N de Folin-Ciocalteu, y una solución de carbonato de sodio a 1 N.

Para preparar la curva estándar de ácido gálico se preparó una solución madre a una concentración de 2000 ppm y de esta se tomaron alícuotas de 0,0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 mL aforados a 10 mL para la curva de calibración.

Tanto para la curva estándar como para las muestras se tomaron 150 μ L, 2400 μ L de agua destilada y 150 μ L de folin 0.25N y se agitó por 2 minutos, se dejó reaccionar por 3 minutos y luego se agregaron 300 μ L de carbonato de sodio (1N) se dejó reposar por 2 horas en oscuridad, una vez transcurrido este tiempo se midió absorbancia a una longitud de onda de 725 nm. Este procedimiento se muestra en el Anexo 12.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de la materia prima

El mango es una fruta climatérica, es decir se cosecha en madurez fisiológica y se deja madurar a temperatura ambiente o condiciones controladas hasta que alcanza una madurez de consumo, debido a esto es importante que antes de la obtención del subproducto se determine el estado de madurez de la fruta realizando la caracterización mediante análisis físico-químico de la misma (González y González, 2010).

La caracterización de mangos frescos de la variedad Tommy Atkins se realizó homogenizando 2 diferentes lotes, los datos se detallan en la tabla 6, conjuntamente con datos de referencia de una estudio realizado a la misma variedad de la fruta (Carrera, Mark, y Gil, 2008).

Tabla 5. Características físico- químicas de la muestra

Propiedades	Valor numérico	Referencia	
% Humedad	79.86 ± 1,245	78.68	
% Acidez	0.30 (ac. Cítrico) ± 0.16	0.23	
°Brix	10 ± 0.42	8.33	
pH	4.74 ± 0.23	3.70	
Índice de madurez	38.39 ± 18.10	36.22	
Color	L*	3.3 ± 0,14	NR
	a*	5.35 ± 0.35	
	b*	72.25 ± 1.77	
	C*	72.45 ± 1.77	
	h°	274.25 ± 0.35	

NR: Sin referencia

En la comparación que se realizó entre los resultados obtenidos en la experimentación y los resultados tomados como referencia se pudo notar que presentan características similares, es decir se encuentran en valores muy cercanos, sin embargo, si hay variaciones las mismas que se podrían atribuir a el estado de la fruta usada.

El color es otra propiedad que se evaluó, los valores corresponden a la corteza o exocarpio de los mangos frescos, en la etapa de maduración el color es una de las características fisicoquímicas más importantes, debido a que es en esta etapa en la cual los compuestos químicos como las clorofilas responsables del color verde, con el paso del tiempo reaccionan y se van degradando, permitiendo a los carotenoides responsables del color amarillo, que absorban luz del espectro visible y por tanto la transmitan a la longitud de onda propia del color amarillo (Jha, Chopra, y Kingsly, 2007).

Según Salinas-Hernández (2015) en el sistema de color CIE L^* , a^* , b^* la coordenada espacial L indica la luminosidad la misma que para la muestra dio un valor de 3.3 es

decir está más cerca del 0 que indica negro o en este caso más oscuro, para la coordenada a^* se tuvo un valor de 5.35 positivo que tiende al rojo, y para b^* se tuvo un valor de 72.25 positivo lo cual tiende a amarillo, además se determinaron las magnitudes psicofísicas cromática C^* con un valor de 72.45 que indica la intensidad de color y h° con un valor de 274.25 que indica la percepción de color.

4.2. Actividad antioxidante y fenoles totales determinados para muestras frescas, escaldadas y polvos tamizados

En la tabla 7 se describen los resultados obtenidos a partir de los métodos: DPPH, ABTS y FRAP, mientras que en la tabla 8 se describen los resultados correspondientes al contenido de fenoles totales determinados por el método de Folin-Ciocalteu.

Los resultados para los métodos que determinan la actividad antioxidante se presentan en dos unidades que son micromoles equivalentes de trolox por gramo de extracto ($\mu\text{M ET/g ext}$) y micromoles equivalentes de trolox por gramo de muestra en base seca ($\mu\text{M ET/g muestra BS}$), y para el método que determina el contenido de fenoles totales los resultados obtenidos se presentan en miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 gramos de extracto ($\text{mg EAG}/100\text{g ext}$) y miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 gramos de muestra en base seca ($\text{mg EAG}/100\text{g BS}$), esto con la finalidad de una mejor comparación con referencias bibliográficas.

Tabla 6. Resultados de la actividad antioxidante para extractos de muestras frescas, escaldadas y polvos tamizados

	DPPH	ABTS	FRAP
Muestra	$\mu\text{M ET/g ext}$	$\mu\text{M ET/g ext}$	$\mu\text{M ET/g ext}$
Escaldado	388.43 ± 66.09^a	281.16 ± 24.99^a	132.54 ± 18.95^a
Fresco	672.18 ± 37.20^b	694.35 ± 33.39^b	378.93 ± 31.47^b
Polvos tamizados	903.40 ± 13.37^c	1070.24 ± 71.07^c	468.78 ± 8.93^c
	$\mu\text{M ET/g Muestra BS}$	$\mu\text{M ET/g muestra BS}$	$\mu\text{M ET/g muestra BS}$
Escaldado	31.66 ± 4.67^a	22.99 ± 2.57^a	12.01 ± 0.15^a
Fresco	50.20 ± 3.16^b	51.83 ± 17.21^b	28.23 ± 0.27^b
Polvos tamizados	141.57 ± 17.09^c	202.71 ± 10.61^c	76.65 ± 9.19^c

Tabla 7. Resultados de fenoles totales

	Fenoles totales	
Muestra	$\text{mg EAG}/100\text{g ext}$	$\text{mg EAG}/100\text{g BS}$
Escaldado	2924.65 ± 407.95^a	238.49 ± 27.80^a
Fresco	4334.67 ± 426.37^b	340.22 ± 31.43^b
Polvos tamizados	5511.04 ± 223.68^c	898.41 ± 54.40^c

Se realizó la determinación de la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales de los extractos de la materia prima en estos tres estados para determinar cómo varía esta actividad de acuerdo a la transformación física que se le da a la muestra.

Los resultados indican que los extractos de los polvos tamizados presentaron valores estadísticamente ($p < 0.05$) mayores de actividad antioxidante y contenido de fenoles totales con respecto a los extractos de las muestras frescas y escaldadas lo que indica que el pre- tratamiento que se le da a las muestras mejora la extracción, debido a que al eliminar el contenido de agua presente en la muestra estamos reduciendo la probabilidad de que ocurran reacciones enzimáticas y químicas en los compuestos bioactivos que alteren su cantidad, además esta es una manera de conseguir mantener el contenido de compuestos bioactivos del material de partida (González y González, 2010).

Rojas Jiménez (2014), en su investigación reportó actividad antioxidante para la piel de mango usando la misma metodología metanol- agua y acetona- agua, la cuantificación se realizó por los métodos ABTS, y FRAP, los valores reportados fueron 339 μMol de ET/g muestra BS, 67 μMol ET/g BS respectivamente, comparando estos resultados con los obtenidos en esta investigación como se observa en la tabla 7, se determinó una actividad antioxidante para ABTS de 202.71 μMol ET/g BS y para FRAP 76.65 μMol ET/g BS. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede evidenciar que estos valores se encuentran relacionados, sin embargo, las variaciones podrían deberse a los factores que afectan de forma importante a la composición de los compuestos bioactivos que dan las propiedades antioxidantes, entre estos están la variedad de la fruta que, aunque en esta investigación y la de Rojas Jiménez (2014) es la misma, depende de otros factores como estado de madurez y procedencia de la fruta.

En cuanto al contenido de fenoles totales Martínez et al. (2012) reportaron un contenido de 546 mg AG/100 g muestra, a pesar de que en esta investigación se usó la misma metodología, el contenido de fenoles totales fue mayor, con un valor de 898.41 mg AG/100 g muestra BS.

4.3. Atomización

4.3.1. Actividad antioxidante y fenoles totales determinados para extractos a atomizar

Las tablas 9 y 10 muestran los resultados obtenidos en cuanto a la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales de los extractos acuosos antes de ser atomizados.

Tabla 8. Resultados de la actividad antioxidante para extractos antes de ser atomizados

	DPPH	ABTS	FRAP
Muestra	$\mu\text{M ET/g ext}$	$\mu\text{M ET/g ext}$	$\mu\text{M ET/g ext}$
	911.51 \pm 24.99	987.19 \pm 17.37	664.34 \pm 48.94
Extracto para atomizar	$\mu\text{M ET/g Muestra BS}$	$\mu\text{M ET/g muestra BS}$	$\mu\text{M ET/g muestra BS}$
	415.81 \pm 11.40	450.33 \pm 7.92	303.05 \pm 22.33

Tabla 9. Resultados de contenido de fenoles totales para extractos a atomizar

Muestra	Fenoles totales	
Extracto para atomizar	mg EAG/100g ext	mg EAG/100g BS
	10046.32 \pm 1472.384	4213.64 \pm 290.12

La actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales depende de muchos factores entre los que se puede mencionar están la matriz que se esté utilizando, las características químicas del disolvente, el tiempo de extracción, y la relación volumen disolvente-muestra (González-Montelongo, Lobo, y González, 2010; González y González, 2010).

Si comparamos los valores obtenidos para los extractos de los polvos tamizados (tablas 7 y 8) con los obtenidos para los extractos antes de ser atomizados podemos determinar que a pesar de ser la misma muestra de partida, los resultados de la cuantificación son estadísticamente ($p < 0.05$) iguales para DPPH y ABTS y diferentes para FRAP y fenoles totales, esto se puede justificar tomando en cuenta que las condiciones en las que se realizaron estas extracciones fueron diferentes además de usar diferentes metodologías.

Según González y González (2010), el etanol es uno de los solventes que puede extraer mayor cantidad de compuestos fenólicos de matrices de frutas, y su mezcla con agua hace la extracción mucho mejor, esta afirmación justifica el elevado contenido de fenoles totales determinados para los extractos antes de ser atomizados, sin embargo, este aumento también puede estar influenciado por la presencia de compuesto co- extraídos.

En la investigación de Ajila et al. (2007) se reportó un contenido de fenoles totales para cáscaras de mango maduro de 4631 mg EAG/ 100 g muestra BS y el contenido determinado en esta investigación fue de 4213.64 mg EAG/ 100 g muestra BS.

4.3.2. Evaluación de producto atomizado

En la figura 11 se muestran los polvos atomizados obtenidos y en la tabla 11 se presentan los datos de cada una de las variables independientes y los resultados

obtenidos para las variables dependientes, las mismas que fueron las siguientes: porcentaje de recuperación, actividad antioxidante (DPPH, ABTS, FRAP) y contenido fenoles totales (Folin-Ciocalteu), estos se llevaron a cabo de acuerdo al diseño experimental descrito en la sección 3.4.3



Figura 11. Polvos atomizados
Fuente: La autora

Tabla 10. Resultados de evaluación de productos atomizados

VARIABLES INDEPENDIENTES				VARIABLES DEPENDIENTES				
Temperatura	Flujo de bomba	Conc. Sólidos	Flujo de aire	Recuperación	Actividad Antioxidante			Contenido de Fenoles Totales
					DPPH	ABTS	FRAP	
°C	%	%	mm	%	µM ET/g atomizado	µM ET/g atomizado	µM ET/g atomizado	mg AG/100 g atomizado
140	10	6	30	76.22 ± 2.20	127.25 ± 0.24	216.47 ± 1.89	111.86 ± 0.39	2105.68 ± 8.04
160	25	6	30	67.06 ± 0.24	128.83 ± 0.35	214.47 ± 1.89	134.80 ± 0.36	2120.46 ± 19.29
140	25	6	20	36.06 ± 4.00	128.88 ± 0.18	217.97 ± 1.18	112.71 ± 1.19	2059.09 ± 6.43
160	40	10	20	22.60 ± 2.26	126.71 ± 0.41	214.47 ± 5.42	101.05 ± 0.96	1815.91 ± 9.64
140	25	6	30	65.22 ± 2.83	128.92 ± 0.24	214.05 ± 4.60	126.82 ± 0.26	2384.09 ± 9.64
140	25	6	30	63.06 ± 1.34	128.46 ± 0.06	219.80 ± 0.71	117.61 ± 0.87	1956.82 ± 9.64
120	10	10	40	69.57 ± 0.99	130.00 ± 0.35	227.22 ± 2.48	117.89 ± 0.74	2355.68 ± 27.32
120	25	6	30	61.94 ± 0.55	129.83 ± 0.12	215.55 ± 4.60	108.80 ± 0.80	2102.27 ± 19.29
120	40	10	40	54.63 ± 0.71	129.58 ± 0.71	227.97 ± 3.06	107.77 ± 0.45	2078.41 ± 20.89
160	40	2	40	70.67 ± 3.77	129.67 ± 0.83	235.13 ± 4.24	112.07 ± 0.10	1979.55 ± 19.29
160	10	2	40	65.83 ± 2.12	128.00 ± 0.59	214.72 ± 1.06	109.02 ± 1.25	2110.23 ± 20.89
120	40	2	20	11.50 ± 0.24	108.79 ± 0.29	214.30 ± 1.41	132.59 ± 1.03	1456.82 ± 16.07
140	40	6	30	45.94 ± 2.75	111.33 ± 0.71	231.55 ± 0.35	144.61 ± 1.25	2497.73 ± 22.50
140	25	10	30	59.00 ± 1.41	116.04 ± 0.77	224.72 ± 0.59	119.55 ± 0.32	1870.46 ± 12.86
140	25	6	40	70.89 ± 3.14	124.83 ± 0.59	232.13 ± 0.71	120.41 ± 0.71	2019.32 ± 36.96
160	10	10	20	51.67 ± 0.09	128.04 ± 0.30	239.30 ± 0.47	118.02 ± 1.13	2437.50 ± 33.75
140	25	2	30	64.83 ± 2.12	127.67 ± 0.35	228.05 ± 4.83	138.57 ± 1.32	2400.00 ± 38.57
120	10	2	20	49.50 ± 1.18	127.75 ± 0.35	221.63 ± 12.49	145.77 ± 0.71	2321.59 ± 14.46
140	25	6	30	63.83 ± 0.39	112.92 ± 0.47	254.30 ± 0.00	121.16 ± 0.74	1832.96 ± 24.11

Los valores se expresan como n=2; ± desviación estándar de la muestra y el duplicado respectivamente

4.3.3. Rendimiento

Con el análisis de varianza se determinó que las variables independientes que tienen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en el rendimiento fueron flujo de aire y flujo de bomba. En la figura 12 se muestra la gráfica de los efectos principales para rendimiento, se puede observar que hay mayor rendimiento a mayor flujo de aire y menor flujo de bomba.

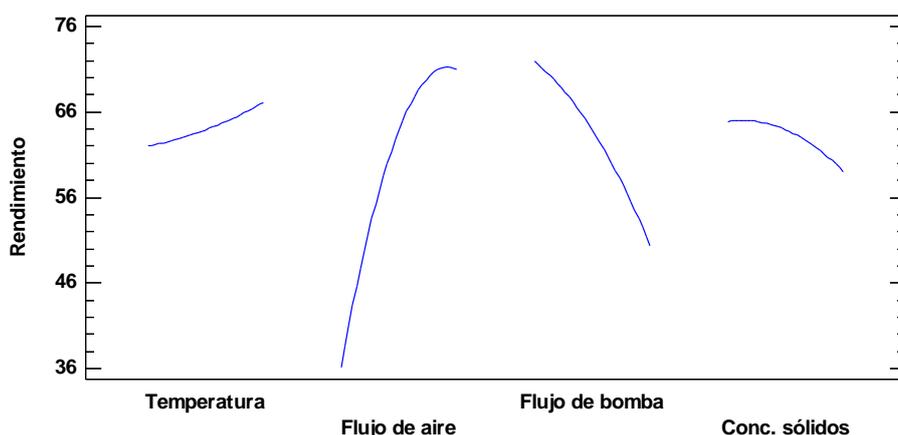


Figura 12. Gráfica de efectos principales para rendimiento
Fuente: La autora

En la figura 13 se muestra la gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada la cruz indica el punto en el que se localizan las condiciones que optimizan la variable de rendimiento en un valor de 85.54%, siendo las condiciones de optimización de temperatura a 120 °C, flujo de aire a 36 mm, flujo de bomba 10%, y concentración de sólidos en solución 2%.

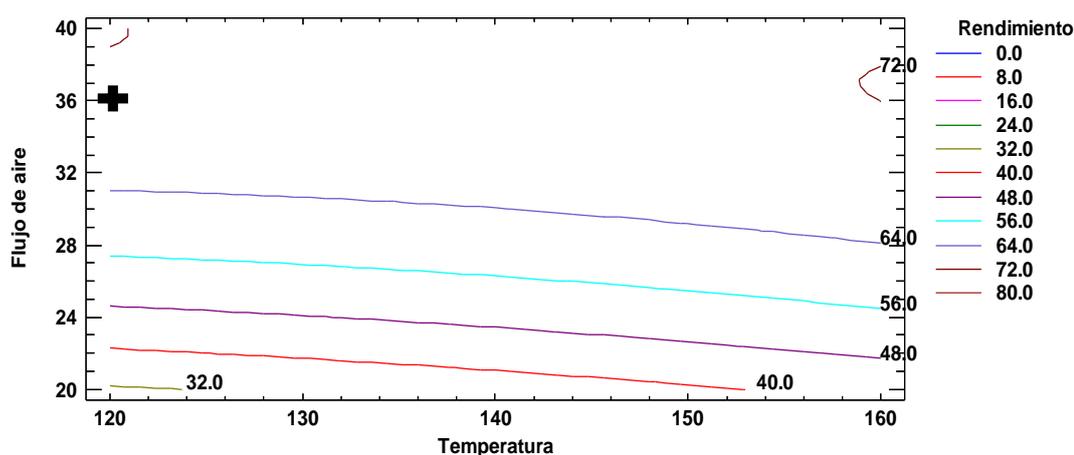


Figura 13. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada
Fuente: La autora

El rendimiento óptimo obtenido es considerablemente alto, en los estudios de Luján Olivares (2013) y Guzmán Gil y Castaño Castrillón (2002) obtuvieron rendimientos de

91.88 y 60.18 % respectivamente, sin embargo, esta variable depende mucho de las condiciones de atomización, del producto atomizado y además del material encapsulante.

Esta variable es muy importante en el proceso desde el punto de vista económico, ya que determina la viabilidad del proceso, es decir si se obtiene mayor rendimiento contribuiría a mayores ganancias en su posible utilización como método de secado.

4.3.4. Método DPPH

El análisis de varianza determinó que las variables independientes que tienen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) en esta variable respuesta fueron flujo de bomba y concentración de sólidos.

La figura 14 muestra la gráfica de los efectos principales para DPPH, en esta se puede observar que a mayor flujo de bomba menor cantidad de actividad antioxidante, así mismo en cuanto a la concentración de sólidos si es mayor hay menor actividad antioxidante.

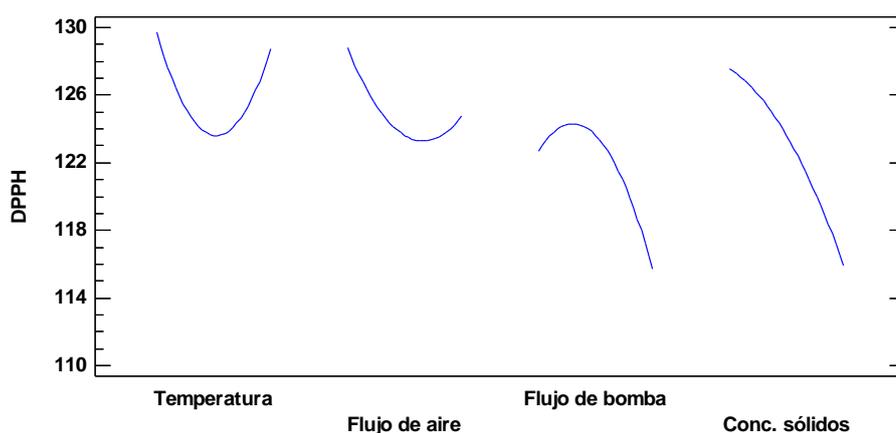


Figura 14. Gráfica de efectos principales para DPPH

Fuente: La autora

Para esta variable las condiciones que la optimizan fueron temperatura a 160 °C, flujo de aire 20 mm, flujo de bomba 18 %, y concentración de sólidos en solución 2 %.

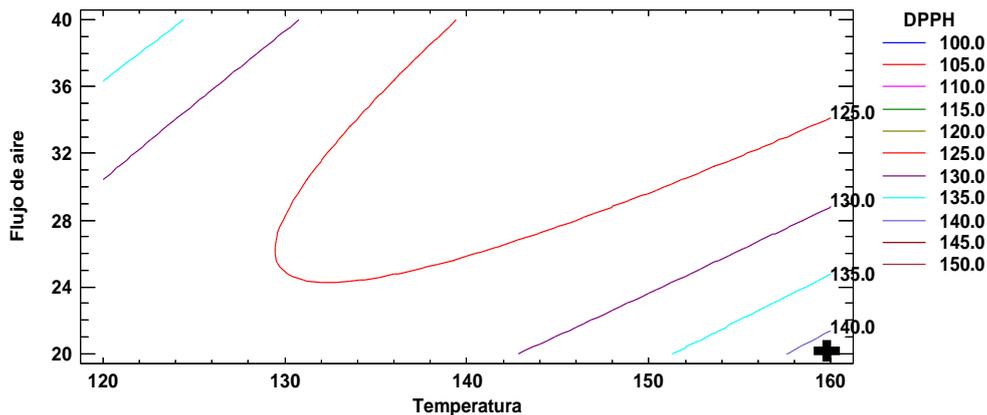


Figura 15. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada
Fuente: La autora

La figura 15 muestra la gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada, la cruz indica el punto en el que se localizan estas condiciones optimizando la variable DPPH en un valor de 147.47 $\mu\text{M ET/g}$ atomizado como se mencionó este valor corresponde al 33.33% pero en el 100% de extracto tendríamos un valor real de 442.45 $\mu\text{M ET/g ext}$ si comparamos este valor con el obtenido en los extractos iniciales que fue de 911.511 $\mu\text{M ET/g ext}$ podríamos determinar que con el proceso de atomizado se redujo la actividad antioxidante medida por este método en un 51.46%.

4.3.5. Método ABTS

Este método se usó al igual que el método anterior para determinar la actividad antioxidante presente en los productos atomizados, según el análisis de varianza las variables independientes que tienen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) sobre esta variable respuesta fueron flujo de bomba y concentración de sólidos.

En la figura 16 se muestra la gráfica de los efectos principales para ABTS, en esta se observa que a mayor flujo de bomba y mayor concentración de sólidos menor actividad antioxidante determinada por este método.

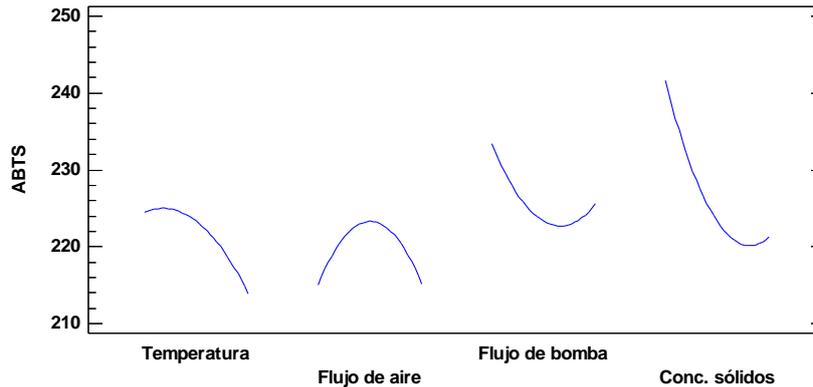


Figura 16. Gráfica de efectos principales para ABTS
Fuente: La autora

Las condiciones que optimizaron esta variable respuesta fueron temperatura a 120 °C, flujo de aire 34 mm, flujo de bomba 10% y concentración de sólidos en solución 2 %.

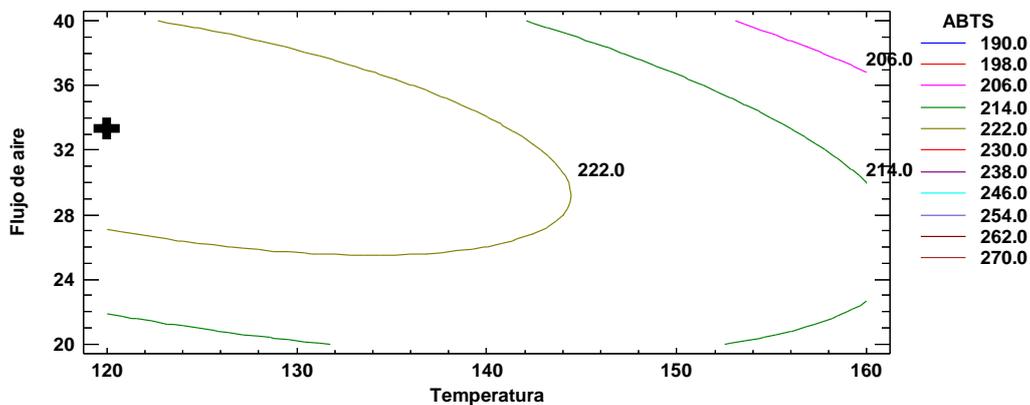


Figura 17. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada
Fuente: La autora

La figura 17 muestra la gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada, la cruz indica el punto en el que se localizan estas condiciones optimizando la variable ABTS en un valor de 260.42 $\mu\text{M ET/g}$ atomizado, que corresponde a 781.34 $\mu\text{M ET/g}$ ext, si comparado con el obtenido para los extractos iniciales que fue de 987.188 $\mu\text{M ET/g}$ ext, se puede determinar que con el proceso de atomización la actividad antioxidante se redujo en un 21.04 %.

4.3.6. Método FRAP

Al igual que para los métodos anteriores este método determinó la actividad antioxidante presente en los productos atomizados, según el análisis de varianza las variables independientes que tienen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) sobre esta variable respuesta fueron temperatura y concentración de sólidos.

En la figura 18 se muestra la gráfica de los efectos principales para FRAP, se puede observar que a mayor temperatura hay mayor actividad antioxidante y en cuanto a la concentración de sólidos si esta es menor será mayor la actividad antioxidante determinada.

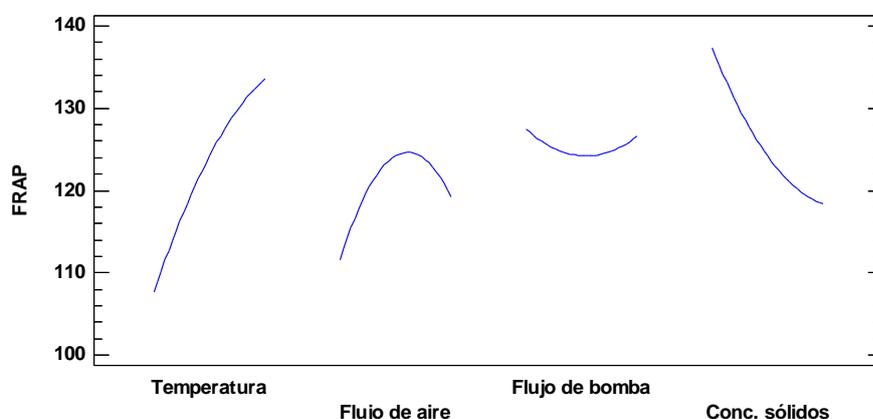


Figura 18. Gráfica de efectos principales para FRAP
Fuente: La autora

Para esta variable respuesta las condiciones que la optimizaron fueron temperatura a 152°C, flujo de aire 20 mm, flujo de bomba 10%, y concentración de sólidos en solución 2 %.

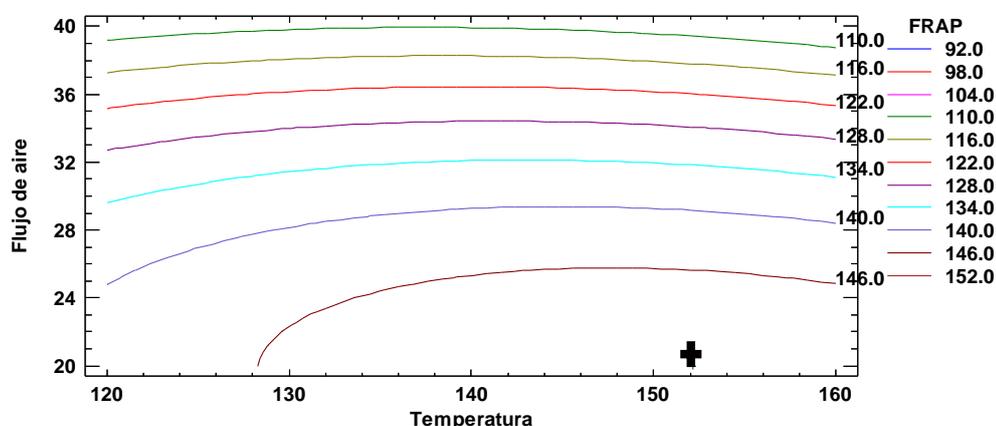


Figura 19. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada
Fuente: La autora

La figura 19 muestra la gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada, la cruz indica el punto en el que se localizan estas condiciones optimizando la variable FRAP en un valor de 151.70 $\mu\text{M ET/g}$ atomizado, que corresponde a 455.15 $\mu\text{M ET/g}$ ext, haciendo una comparación con el valor obtenido para los extractos iniciales que fue de 664.337 $\mu\text{M ET/g}$ ext, podemos determinar que con el proceso de atomización la actividad antioxidante redujo en un 31.49 %.

4.3.7. Fenoles totales

La variable respuesta de fenoles totales se determinó para todos los productos atomizados, según el análisis de varianza las variables independientes que tienen un efecto estadísticamente significativo ($p < 0.05$) sobre esta variable respuesta fueron flujo de bomba y concentración de sólidos.

En la figura 20 se muestra la gráfica de los efectos principales para fenoles totales, en esta se observa que a menor flujo de bomba y concentración de sólidos mayor cantidad de fenoles totales determinados.

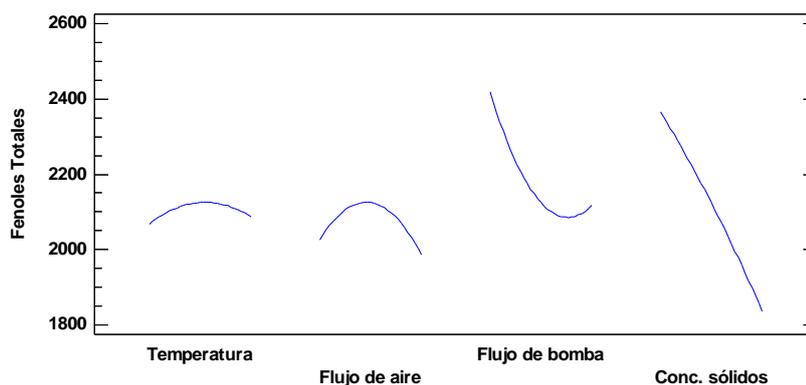


Figura 20. Gráfica de efectos principales para Fenoles totales
Fuente: La autora

Las condiciones que la optimizaron esta variable respuesta fueron temperatura a 160°C, flujo de aire 25 mm, flujo de bomba 10%, y concentración de sólidos en solución 2 %.

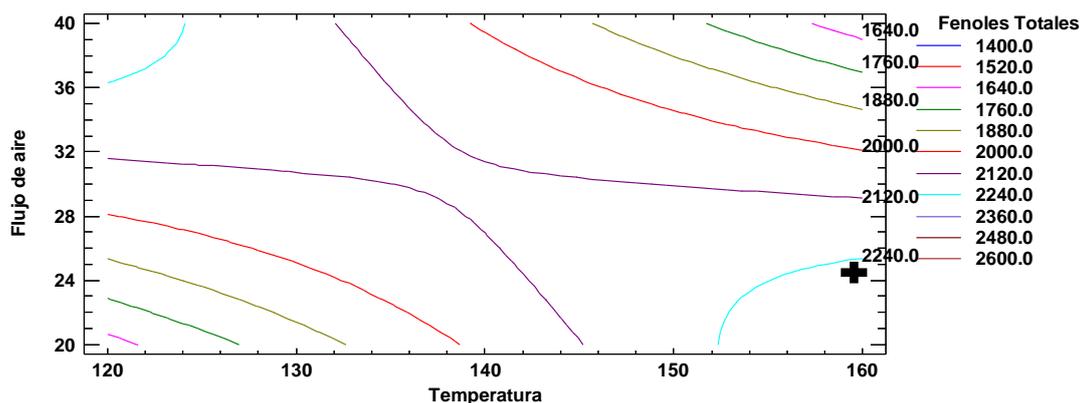


Figura 21. Gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada
Fuente: La autora

La figura 21 muestra la gráfica de contornos de la superficie de respuesta estimada, la cruz indica el punto en el que se localizan estas condiciones optimizando la variable de fenoles totales en un valor de 2900.95 mg EAGI/100 g atomizado, que corresponde a 8703.72 mg EAG/100 g ext, comparando este valor con el obtenido para los extractos

iniciales que fue de 10046.32 mg EAG/100 g ext se puede determinar que el contenido de fenoles totales se redujo en un 13.36 %.

Según los resultados obtenidos con el proceso de atomización hay una reducción en cuanto a la actividad antioxidante y el contenido de fenoles totales en diferentes porcentajes de acuerdo al método utilizado, esto se debe a que en el secado por atomización hay un contacto de forma directa entre el calor y la muestra lo cual provoca una degradación térmica de los compuestos antioxidantes y compuestos fenólicos ya que estos son termolábiles, es decir sensibles al calor (Ungar, Osundahunsi, y Shimoni, 2003)

La tabla 12 muestra en resumen las condiciones óptimas para cada una de las variables respuestas, como se puede observar cada una de las variables se optimizó en condiciones diferentes, esto debido a la naturaleza de los antioxidantes y de los métodos empleados.

Tabla 11. Optimización de las condiciones de atomización

Variable respuesta	Valor óptimo	Condiciones que optimizan			
		Temperatura (°C)	Flujo de aire (mm)	Flujo de bomba (%)	Concentración Sólidos (%)
Rendimiento (%)	85.54	120	36	10	2
DPPH (µM ET/g atomizado)	147.47	160	20	18	2
ABTS (µM ET/g atomizado)	260.42	120	34	10	2
FRAP (µM ET/g atomizado)	151.70	152	20	10	2
Fenoles totales (mg EAG/100g atomizado)	2900.95	160	25	10	2

En la tabla 12 además se puede observar que la única condición que se mantiene estable para todas las combinaciones de variables independientes es la concentración de sólidos, la misma que es del 2%, esto se lo puede atribuir a que se usó como material encapsulante goma arábiga en relación 1:2, esta podría haber protegido los compuestos bioactivos presentes en los extractos de una mejor manera al tener menos cantidad de sólidos en suspensión.

Para poder determinar una sola combinación de condiciones que optimicen todas las variables respuestas, se utilizaron los modelos matemáticos obtenidos en el análisis de superficie de respuesta, los mismos que se muestran en la tabla 13.

Tabla 12. Ecuaciones de segundo orden de cada variable respuesta

Variable Respuesta	Ecuación de segundo orden
Rendimiento (%)	$y = -31.926 - 0.300*A + 9.004*B - 3.065*C - 1.275*D + 0.002*A^2 - 0.015*A*B + 0.012*A*C + 0.022*A*D - 0.104*B^2 + 0.047*B*C - 0.016*B*D - 0.012*C^2 - 0.023*C*D - 0.121*D^2$
DPPH (µM ET/g atomizado)	$y = 240.176 - 2.518*A + 3.678*B - 1.132*C + 10.249*D + 0.014*A^2 - 0.042*A*B + 0.008*A*C - 0.066*A*D + 0.031*B^2 + 0.018*B*C - 0.063*B*D - 0.020*C^2 + 0.032*C*D - 0.116*D^2$
ABTS (µM ET/g atomizado)	$y = -49.978 + 3.267*A + 9.223*B - 1.876*C - 13.710*D - 0.010*A^2 - 0.031*A*B + 0.000*A*C + 0.045*A*D - 0.082*B^2 + 0.010*B*C - 0.042*B*D + 0.028*C^2 + 0.002*C*D + 0.510*D^2$
FRAP (µM ET/g atomizado)	$Y = -34.461 + 2.702*A + 3.924*B - 1.575*C - 37.813*D - 0.009*A^2 - 0.013*A*B + 0.004*A*C + 0.127*A*D - 0.088*B^2 + 0.019*B*C + 0.525*B*D + 0.013*C^2 - 0.035*C*D + 0.229*D^2$
Fenoles totales (mg EAG/100g atomizado)	$y = -7606.730 + 90.705*A + 305.354*B - 92.701*C + 94.249*D - 0.118*A^2 - 1.836*A*B + 0.162*A*C - 1.017*A*D - 1.195*B^2 + 0.899*B*C - 0.181*B*D + 0.636*C^2 + 0.201*C*D - 1.467*D^2$

A= temperatura, B= Flujo de aire, C= Flujo de bomba, D= Fenoles totales

En cada una de estas ecuaciones se realizó la sustitución de las condiciones óptimas para cada variable respuesta y se determinaron los porcentajes de diferencia con relación a cada valor óptimo. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 14 y sus respectivos cálculos en el anexo 13.

Tabla 13. Valores óptimos teóricos y el porcentaje de diferencia

Condiciones óptimas	Rendimiento (%)		DPPH µM ET/g atomizado		ABTS µM ET/g atomizado		FRAP µM ET/g atomizado		Fenoles totales mg EAG/100g atomizado	
	Valor óptimo	Porcentaje de diferencia	Valor óptimo	Porcentaje de diferencia	Valor óptimo	Porcentaje de diferencia	Valor óptimo	Porcentaje de diferencia	Valor óptimo	Porcentaje de diferencia
Rendimiento	85.54*	---	133.82	9.26	247.88	4.82	121.3	20.04	2675.34	7.78
DPPH	56.71	28.83	*	---	235.52	9.56	149.03	1.76	2823.98	2.65
ABTS	84.81	0.73	132.09	10.43	260.42*	---	126.41	16.67	2655.32	8.47
FRAP	59.91	25.63	139.71	5.26	245.69	5.66	151.7*	---	2807.47	3.22
Fenoles totales	73.22	12.32	139.41	5.47	237.17	8.93	146.74	3.27	2900.95*	---

* = Valor óptimo

Los porcentajes de diferencia con respecto a los valores óptimos oscilan entre 1 – 29 % lo cual puede deberse a los métodos empleados para su determinación, ya que es difícil que converjan en un solo valor por lo que se basan en metodologías diferentes, sin embargo, para determinar una sola combinación de variables independientes solo se tomaron en cuenta las variables respuesta de rendimiento y fenoles totales debido a que las variables de actividad antioxidante son respuesta de los fenoles totales, por lo tanto

según los resultados obtenidos las condiciones que optimizan la variable de rendimiento reducen el contenido de fenoles totales en un 8% respecto al valor optimizado.

CONCLUSIONES

- ✚ Se logró obtener un producto atomizado a partir de los compuestos bioctivos (antioxidantes) extraídos de los subproductos de mango, específicamente de la corteza o cáscara, este producto cuenta con actividad antioxidante y un contenido de compuestos fenólicos que bien se podría usar como ingrediente en la industria a alimentaria o como nutracéuticos.
- ✚ Los extractos iniciales que se obtuvieron a partir de la corteza de mango presentaron una buena actividad antioxidante, la misma que fue de $911.51 \pm 24.99 \mu\text{M ET/g ext}$, $987.19 \pm 17.37 \mu\text{M ET/g ext}$, $664.34 \pm 48.94 \mu\text{M ET/g ext}$ y $10046.32 \pm 1472.38 \text{ mg EAGI/100 g ext}$, para los métodos DPPH, ABTS, FRAP y fenoles totales respectivamente.
- ✚ Las condiciones de optimización para el proceso fueron diferentes para cada variable respuesta, sin embargo, se realizó un balance entre las condiciones que optimizaron a la variable de rendimiento y contenido de fenoles totales, obteniendo así que las condiciones óptimas para rendimiento que fueron temperatura 120°C , flujo de aire 36 mm, flujo de bomba 10% y concentración de solidos 2% reducen en un 8% el contenido de fenoles totales respecto al valor óptimo, por lo tanto se podrían tomar como referencia de actividad antioxidante y contenido de fenoles totales en estudios posteriores.
- ✚ Se evaluó la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales de los extractos en forma de polvo luego del proceso de atomización, y se obtuvieron los siguientes valores $442.45 \mu\text{M ET/g ext}$ con un porcentaje de pérdida de 51.46%, $781.34 \mu\text{M ET/g ext}$ con un porcentaje de pérdida de 21.04%, $455.15 \mu\text{M ET/g ext}$ con un porcentaje de pérdida de 31.49%, y $8703.72 \text{ mg EAG/100 g ext}$ con un porcentaje de pérdida de 13.36%, para los métodos DPPH, ABTS, FRAP y fenoles totales respectivamente.

RECOMENDACIONES

- ✚ Para realizar una mejor optimización de las condiciones de atomización para compuestos bioactivos, sería recomendable que se haga la optimización respecto al contenido de compuestos fenólicos principales, o mayoritarios y la determinación de estos se la realice por un método más eficaz como el método HPLC.
- ✚ Para conocer las características de los polvos atomizados sería recomendable que se realicen pruebas de humedad, densidad, tamaño de partícula, solubilidad y propiedades reológicas y así conocer la estabilidad del polvo atomizado.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdalla, Ahmed E. M., Darwish, Saeid M., Ayad, Eman H. E., & El-Hamahmy, Reham M. (2007). Egyptian mango by-product 2: Antioxidant and antimicrobial activities of extract and oil from mango seed kernel. *Food Chemistry*, 103(4), 1141-1152. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.026>
- Ajila, C. M., Bhat, S.G, & Rao, U.J.S Prasada. (2007). Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chemistry*, 102(4), 1006-1011.
- Ajila, C. M., Leelavathi, K., & Prasada Rao, U. J. S. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 319-326. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2007.10.001>
- Ajila, C. M., & Prasada Rao, U. J. S. (2013). Mango peel dietary fibre: Composition and associated bound phenolics. *Journal of Functional Foods*, 5(1), 444-450. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2012.11.017>
- Alamilla, L. (2001). Aspectos sobre el uso de secadores por aspersión. *Documento predoctoral. ENCB-IPN. México.*
- Alexandre, Bruno, & Targino Pinto Correia, Roberta. (2010). Biotechnological reuse of fruit residues as a rational strategy for agro-industrial resources. *Journal of technology management & innovation*, 5(2), 104-112.
- Angeles Martinez, Liliana. (2009). *Dimensionamiento y simulación de un secador por aspersión de nivel piloto*. Intituto Politécnico Nacional, México.
- Arnao, Marino B., Cano, Antonio, & Acosta, Manuel. (2001). The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry*, 73, 239-244. doi:10.1016/S0308-8146(00)00324-1
- Arogba, Sunday S. (1999). The performance of processed mango (*Mangifera indica*) kernel flour in a model food system. *Bioresource Technology*, 70(3), 277-281. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00028-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00028-0)
- Ashoush, IS, & Gadallah, MGE. (2011). Utilization of Mango Peels and Seed Kernels Powders as Sources of Phytochemicals in Biscuit. *World Journal of Dairy & Food Science*, 6(1), 35-42.
- Benzie, Iris FF, & Strain, JJ. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Berardini, Nicolai, Carle, Reinhold, & Schieber, Andreas. (2004). Characterization of gallotannins and benzophenone derivatives from mango (*Mangifera indica* L. cv.

- 'Tommy Atkins') peels, pulp and kernels by high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. *Rapid communications in mass spectrometry : RCM*, 18, 2208-2216. doi:10.1002/rcm.1611
- Berardini, Nicolai, Knödler, Matthias, Schieber, Andreas, & Carle, Reinhold. (2005). Utilization of mango peels as a source of pectin and polyphenolics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4), 442-452.
- Beristain, César I, Azuara, Ebner, Garcia, Hugo S, & Vernon-Carter, Eduardo J. (1996). Kinetic model for water/oil absorption of mesquite gum (*Prosopis juliflora*) and gum arabic (*Acacia senegal*). *International journal of food science & technology*, 31(5), 379-386.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28, 25-30. doi:10.1016/S0023-6438(95)80008-5
- Carrera, Alcibíades, Mark, Delvalle, & Gil, Ramón. (2008). Algunas características físicas y químicas de frutos de cinco variedades de mango en condiciones de sabana del estado Monagas. *Agronomía Tropical*, 58(1), 27-30.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015). Mango, valor de la producción agrícola. from FAOSTAT
- Filková, Iva, Huang, Li Xin, & Mujumdar, Arun S. (2006). Industrial Spray Drying Systems. *Handbook of industrial drying*, 215-255.
- FME. 2000. Fundación Mango Ecuador. Areas de cultivo Guayaquil. Consultado 2016-09-20. Disponible en <http://www.mangoecuador.org/areas-cultivo.php>
- Galanakis, Charis M. (2012). Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications. *Trends in Food Science & Technology*, 26(2), 68-87. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2012.03.003>
- García Cruz, Elena Evelia. (2011). Optimización del secado por aspersion de mucílago de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en función de sus propiedades reológicas (Doctoral dissertation). Instituto Politécnico Nacional. Oaxaca.
- Garmendia, Gabriela, & Méndez, Silvana Vero. (2006). Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*(197), 18-27.
- González-Aguilar, GA, Villegas-Ochoa, MA, Cruz-Valenzuela, MR, Vásquez, F, & Ayala-Zavala, JF. (2006). Irradiación (UV-C) de mango fresco cortado y su efecto en la capacidad antioxidante. Retrieved from <http://www.horticom.com/pd/search.php>

- González-Montelongo, Rafaela, Lobo, M Gloria, & González, Mónica. (2010). The effect of extraction temperature, time and number of steps on the antioxidant capacity of methanolic banana peel extracts. *Separation and Purification Technology*, 71(3), 347-355.
- González, Monica, & Gonzalez, Venerando. (2010). Sample preparation of tropical and subtropical fruit biowastes to determine antioxidant phytochemicals. *Analytical Methods*, 2(12), 1842-1866. doi:10.1039/C0AY00361A
- Gouin, Sébastien. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology*, 15(7-8), 330-347. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.005
- Guzmán Gil, Sandra Patricia, & Castaño Castrillón, José Jaime. (2002). Secado por atomización del jugo de la caña de azúcar. *Cenicafé (Colombia)*.(53(4), 327-333.
- Halliwell, Barry, & Gutteridge, John M. C. (1995). The definition and measurement of antioxidants in biological systems. *Free Radical Biology and Medicine*, 18(1), 125-126. doi:http://dx.doi.org/10.1016/0891-5849(95)91457-3.
- Horwitz, W., & Latimer, G. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed.). Gaithersburg: AOAC International.
- Igual, M., Ramires, S., Mosquera, L. H., & Martínez-Navarrete, N. (2014). Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256, 233-238. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2014.02.003
- IICA. 2007. Estudio de la Cadena Agroalimentaria de Mango en la República Dominicana. Secretaria de Estado de Agricultura, Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura, Consejo Nacional de Competitividad. República Dominicana. 1-59.
- INEN. (1985). Determinación de la concentración del ión hidrógeno (pH) en conservas vegetales. Ecuador. Norma 389.
- INEN. (1985). Determinación de Sólidos Solubles. Ecuador. Norma 380
- Jha, S. N., Chopra, Sangeeta, & Kingsly, A. R. P. (2007). Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 22-26. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.08.048.
- Larrauri, J. A., Rupérez, P., Borroto, B., & Saura-Calixto, F. (1996). Mango Peels as a New Tropical Fibre: Preparation and Characterization. *LWT - Food Science and Technology*, 29(8), 729-733. doi:http://dx.doi.org/10.1006/fstl.1996.0113
- Lim, Y. Y., Lim, T. T., & Tee, J. J. (2007). Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study. *Food Chemistry*, 103(3), 1003-1008. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.038

- Lima, Rosiane L. S., Severino, Liv S., Sampaio, Ligia R., Sofiatti, Valdinei, Gomes, Jucélia A., & Beltrão, Napoleão E. M. (2011). Blends of castor meal and castor husks for optimized use as organic fertilizer. *Industrial Crops and Products*, 33(2), 364-368. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.11.008>
- Litz, R.E. (2009). *The Mango: Botany, Production and Uses*. CABI International.
- Luján Olivares, Georgina. (2013). *Optimización de las Condiciones de Atomización de pulpa de pomelo*. Universitat Politècnica de València. Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología - Escola Tècnica Superior del Medi Rural i Enologia, España.
- Manach, Claudine, Williamson, Gary, Morand, Christine, Scalbert, Augustin, & Rémésy, Christian. (2005). Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *The American journal of clinical nutrition*, 81(1), 230S-242S.
- Martínez, Ruth, Torres, Paulina, Meneses, Miguel A., Figueroa, Jorge G., Pérez-Álvarez, José A., & Viuda-Martos, Manuel. (2012). Chemical, technological and in vitro antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. *Food Chemistry*, 135(3), 1520-1526. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.057>
- Masters, K. (1985). *Spray Drying Handbook* George Godwin. London, England, 67.
- Miravet Valero, Gracia María. (2009). *Secado por Atomización de zumo de granada*. (Maestría), Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.
- Moure, Andrés, Cruz, Jose M., Franco, Daniel, Domínguez, J. Manuel, Sineiro, Jorge, Domínguez, Herminia, . . . Parajó, J. Carlos. (2001). Natural antioxidants from residual sources. *Food Chemistry*, 72(2), 145-171. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00223-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00223-5)
- Mujumdar, Arun S. (1995). *Handbook of industrial drying* (Inc. Marcel Dekker Ed.). New York.
- Naddaf, Luisana, Avalo, Belkis, & Oliveros, Mariaudy. (2012). Secado por aspersion de jugo natural de naranja utilizando los encapsulantes maltodextrina y goma arábica. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 35(1), 020-027.
- NMX-FF-058-SCFI. (2006). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano – fruta fresca – mango (mangifera indica l.) – especificaciones.
- Ortega León, Nicole Alexandra. (2015). *Evaluación de antioxidantes provenientes de subproductos de mango en galletas*. Universidad Técnica Particular de Loja.Loja.

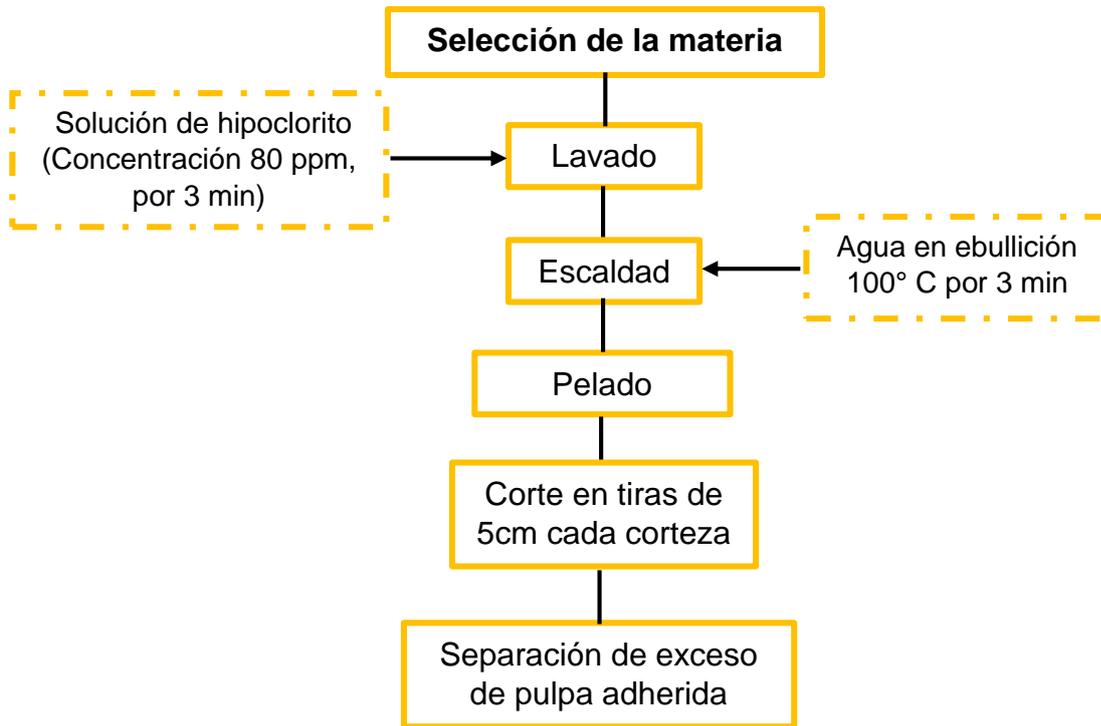
- Oti-Boateng, P, & Barrie, A. (1998). Técnicas de secado. Libro de consulta sobre tecnologías aplicadas al ciclo alimentario. Lima: Intermediate Technology Development Group. United Nations Development Fund for Women.
- Paltrinieri, Gaetano Meyer, Marco, R, & de Marco R Meyer, Gaetano Paltrinieri. (1989). *Elaboración de frutas y hortalizas* (Trillas S. A. Ed.). Mexico.
- Pérez-Jiménez, Jara , & Saura-Calixto, Fulgencio. (2007). Metodología para la evaluación de capacidad antioxidante en frutas y hortalizas. *Paper presented at the V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones*. España.
- Puravankara, D, Boghra, V, & Sharma, R S. (2000). Effect of antioxidant principles isolated from mango (*Mangifera indica* L) seed kernels on oxidative stability of buffalo ghee (butter-fat). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(4), 522-526.
- Reineccius, Gary A. (2004). The spray drying of food flavors. *Drying Technology*, 22(6), 1289-1324.
- Ribeiro, Sônia Machado Rocha, & Schieber, Andreas. (2010). Chapter 34 - Bioactive Compounds in Mango (*Mangifera indica* L.) A2 - Watson, Ronald Ross. In Victor R. Preedy (Ed.), *Bioactive Foods in Promoting Health* (pp. 507-523). San Diego: Academic Press.
- Robles-Sánchez, Maribel, Gorinstein, Shela, Martín-Belloso, Olga, Astiazarán-García, Humberto, González-Aguilar, Gustavo, & Cruz-Valenzuela, Reinaldo. (2007). Frutos tropicales mínimamente procesados: Potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia*, 32(4), 227-232.
- Robles-Sánchez, Rosario M, Rojas-Graü, María A, Odriozola-Serrano, Isabel, González-Aguilar, Gustavo A, & Martín-Belloso, Olga. (2009). Effect of minimal processing on bioactive compounds and antioxidant activity of fresh-cut 'Kent'mango (*Mangifera indica* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 51(3), 384-390.
- Rojas Jiménez, Ximena Alexandra. (2014). *Valoración de los subproductos de mango (*Mangifera indica* L.) y guayaba (*Psidium guajava* L.) como fuente de fibra dietaria y antioxidante*. Universidad Técnica Particular de Loja, Loja.
- Salinas-Hernández, Rosa María, González-Aguilar, Gustavo A, & Tiznado-Hernández, Martín Ernesto. (2015). Utilization of physicochemical variables developed from changes in sensory attributes and consumer acceptability to predict the shelf life of fresh-cut mango fruit. *Journal of food science and technology*, 52, 63-77. doi:10.1007/s13197-013-0992-0.

- Sánchez, G Martínez, Re, L, Giuliani, A, Nunez-Selles, AJ, Davison, G Pérez, & Leon-Fernandez, OS. (2000). Protective effects of *Mangifera indica* L. extract, mangiferin and selected antioxidants against TPA-induced biomolecules oxidation and peritoneal macrophage activation in mice. *Pharmacological Research*, 42(6), 565-573.
- Sáuco, Víctor Galán. (2009). *El cultivo del mango*. España: Mundi-Prensa Libros.
- Schieber, Andreas, Berardini, Nicolai, & Carle, Reinhold. (2003). Identification of flavonol and xanthone glycosides from mango (*Mangifera indica* L. Cv.“Tommy Atkins”) peels by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(17), 5006-5011.
- Shah, K A, Patel, M B, Patel, R J, & Parmar, P K. (2010). *Mangifera indica* (mango). *Pharmacognosy reviews*, 4, 42-48. doi:10.4103/0973-7847.65325
- Solís-Fuentes, J. A., & Durán-de-Bazúa, M. C. (2004). Mango seed uses: thermal behaviour of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. *Bioresource Technology*, 92(1), 71-78. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2003.07.003
- Sumaya, Ma Teresa, Sánchez, Leticia, Torres, Gerardo, & García, Diego. (2012). Red de valor de mango y sus desechos con base en las propiedades nutricionales y funcionales. *Quinta Época*, 30, 826-833.
- Swain, T, & Hillis, WE. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(1), 63-68.
- Thaipong, Kriengsak, Boonprakob, Unaroj, Crosby, Kevin, Cisneros-Zevallos, Luis, & Byrne, David Hawkins. (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), 669-675.
- Tanon, Renata V, Brabet, Catherine, & Hubinger, Míriam D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411-418.
- Ungar, Yael, Osundahunsi, Oluwatooyin F, & Shimoni, Eyal. (2003). Thermal stability of genistein and daidzein and its effect on their antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(15), 4394-4399.
- Vega-Mercado, Humberto, Marcela Góngora-Nieto, M., & Barbosa-Cánovas, Gustavo V. (2001). Advances in dehydration of foods. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 271-289. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00224-7

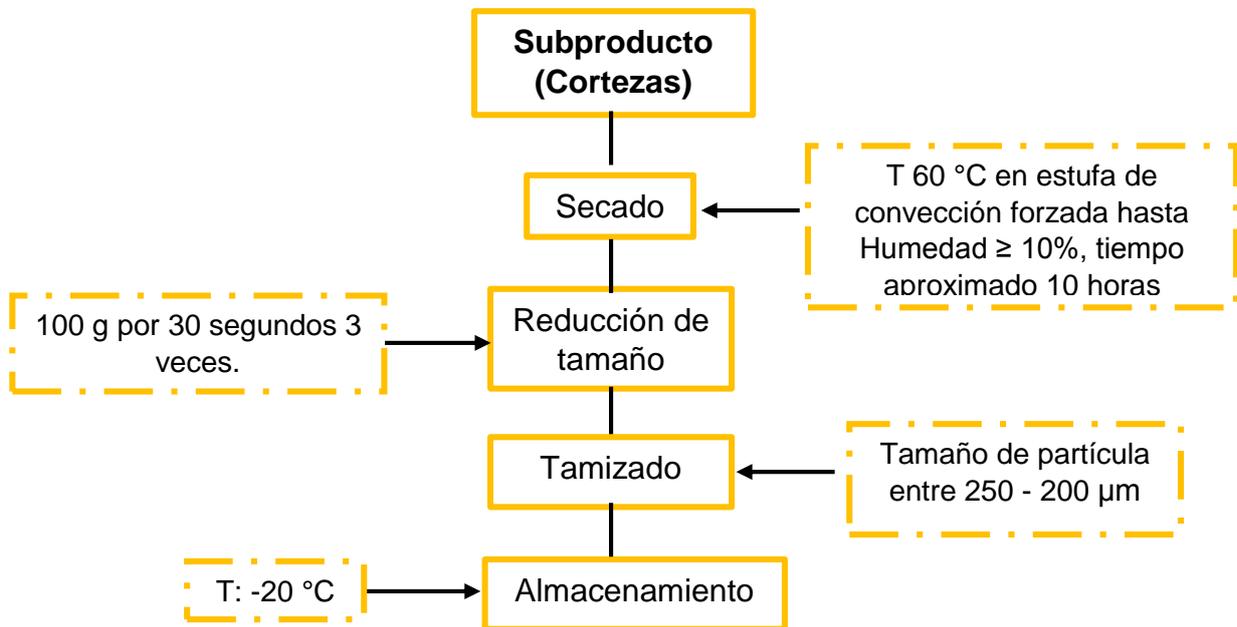
- Yahia, E.M. (2011). *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits: Cocona to Mango*: Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: number 208.
- Zapata, Karol, Rojano, Benjamín A, & Cortes, Farid B. (2015). Efecto Térmico del Secado por Aspersión sobre los Metabolitos Antioxidantes de la Curuba Larga (*Passiflora mollissima baley*). *Información tecnológica*, 26(1), 77-84.

ANEXOS

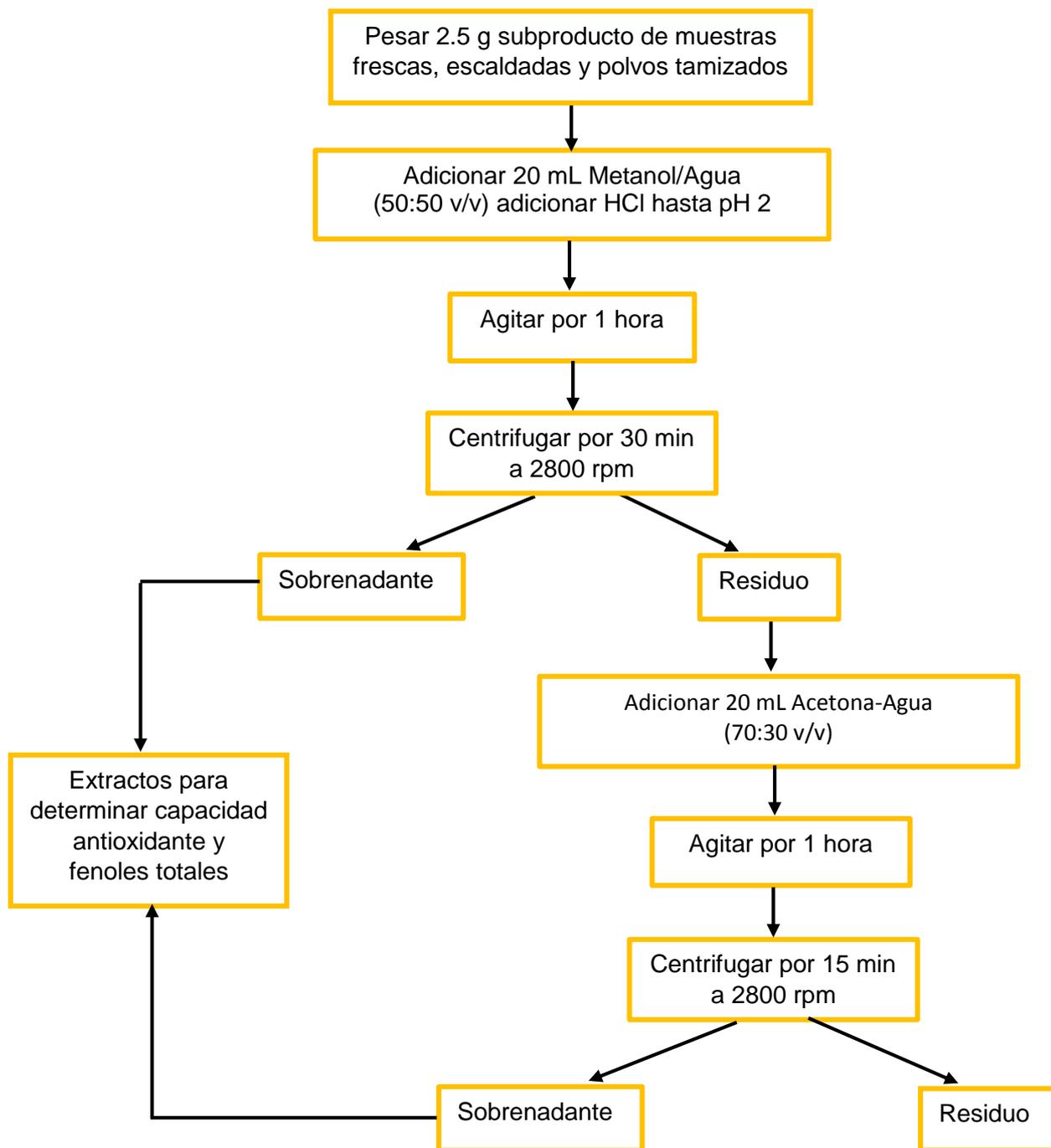
ANEXO 1. Diagrama de procesado de la fruta fresca para obtención de los subproductos (cáscaras)



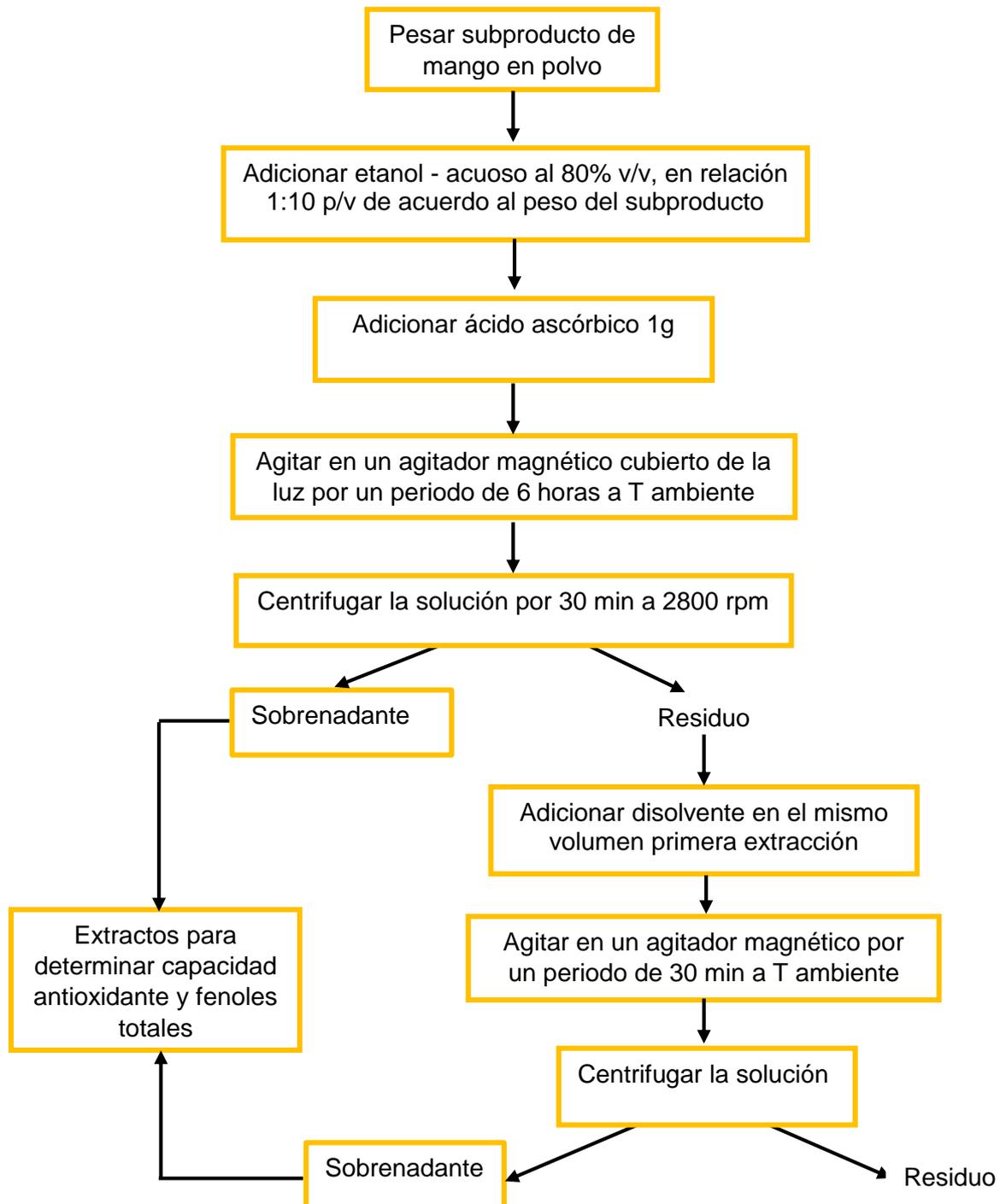
ANEXO 2. Diagrama de preparación de polvos tamizados



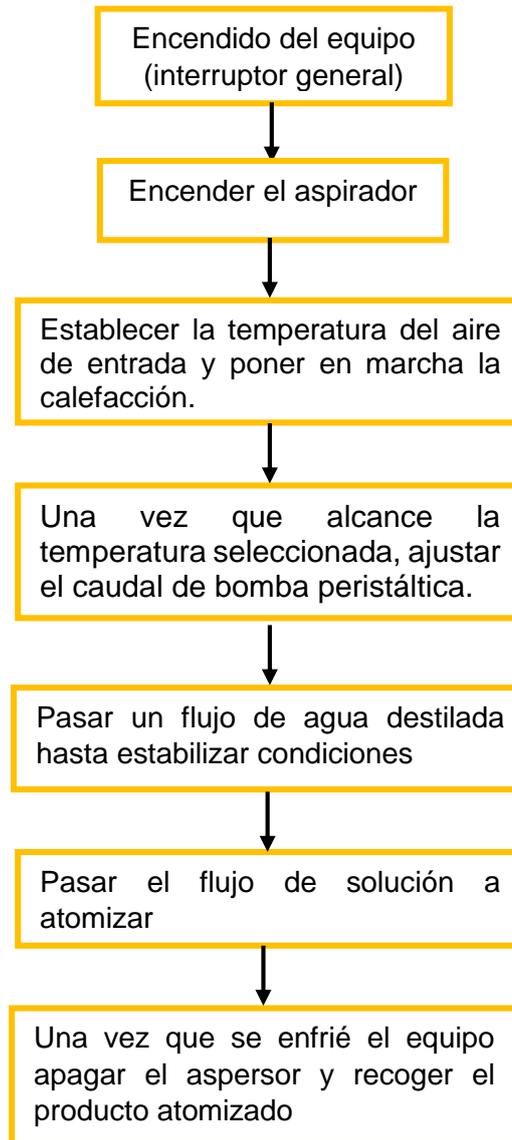
ANEXO 3. Diagrama de extracción de antioxidantes para muestras frescas, escaldadas y polvos tamizados



ANEXO 4. Diagrama de extracción de antioxidantes para atomizado



ANEXO 5. Proceso de atomización



ANEXO 6. Combinaciones propuestas por el diseño experimental

N° de experimentos	Bloques	Temperatura	Flujo de aire	Flujo de bomba	Concentración de Sólidos
		°C	mm	%	%
1	1	140	30	10	6
2	1	160	30	25	6
3	1	140	20	25	6
4	1	160	20	40	10
5	1	140	30	25	6
6	1	120	40	10	10
7	1	120	30	25	6
8	1	120	40	40	10
9	1	160	40	40	2
10	1	140	30	25	6
11	1	160	40	10	2
12	1	120	20	40	2
13	1	140	30	40	6
14	1	140	30	25	6
15	1	140	30	25	10
16	1	140	40	25	6
17	1	160	20	10	10
18	1	140	30	25	2
19	1	120	20	10	2
20	2	140	30	10	6
21	2	160	30	25	6
22	2	140	20	25	6
23	2	160	20	40	10
24	2	140	30	25	6
25	2	120	40	10	10
26	2	120	30	25	6
27	2	120	40	40	10
28	2	160	40	40	2
29	2	140	30	25	6
30	2	160	40	10	2
31	2	120	20	40	2
32	2	140	30	40	6
33	2	140	30	25	6
34	2	140	30	25	10
35	2	140	40	25	6
36	2	160	20	10	10
37	2	140	30	25	2
38	2	120	20	10	2

ANEXO 7. Análisis estadístico para las variables respuestas

Análisis de Varianza para Rendimiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	26.1121	1	26.1121	3.22	0.0863
B:Flujo de aire	1213.48	1	1213.48	149.87	0.0000
C:Flujo de bomba	2309.1	1	2309.1	285.18	0.0000
D: Conc. sólidos	33.9889	1	33.9889	4.20	0.0526
AA	2.13282	1	2.13282	0.26	0.6129
AB	29.5002	1	29.5002	3.64	0.0694
AC	206.066	1	206.066	25.45	0.0000
AD	9.67441	1	9.67441	1.19	0.2862
BB	546.397	1	546.397	67.48	0.0000
BC	811.11	1	811.11	100.18	0.0000
BD	1.31072	1	1.31072	0.16	0.6913
CC	38.8212	1	38.8212	4.79	0.0394
CD	29.3764	1	29.3764	3.63	0.0700
DD	19.0217	1	19.0217	2.35	0.1396
Bloques	5.28392	1	5.28392	0.65	0.4278
Error total	178.132	22	8.09689		
Total (corr.)	10527.9	37			

R-cuadrada = 98.308 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97.1544 por ciento

Error estándar del est. = 2.8455

Error absoluto medio = 1.69598

Estadístico Durbin-Watson = 1.90988 (P=0.3561)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.00251747

Análisis de Varianza para el método DPPH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	1.01002	1	1.01002	0.05	0.8235
B:Flujo de aire	16.3216	1	16.3216	0.82	0.3740
C:Flujo de bomba	244.51	1	244.51	12.34	0.0020
D: Conc. sólidos	135.257	1	135.257	6.82	0.0159
AA	160.028	1	160.028	8.07	0.0095
AB	222.078	1	222.078	11.20	0.0029
AC	97.1703	1	97.1703	4.90	0.0375
AD	88.6837	1	88.6837	4.47	0.0460
BB	49.992	1	49.992	2.52	0.1265
BC	115.939	1	115.939	5.85	0.0243
BD	20.635	1	20.635	1.04	0.3187
CC	99.3408	1	99.3408	5.01	0.0356
CD	60.4118	1	60.4118	3.05	0.0948
DD	17.558	1	17.558	0.89	0.3568
Bloques	0.00341053	1	0.00341053	0.00	0.9897
Error total	436.08	22	19.8218		
Total (corr.)	1733.97	37			

R-cuadrada = 74.8508 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 57.7036 por ciento

Error estándar del est. = 4.45217

Error absoluto medio = 2.12418

Estadístico Durbin-Watson = 1.60335 (P=0.1154)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.173899

Análisis de Varianza para el método ABTS

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	110.25	1	110.25	2.02	0.1695
B:Flujo de aire	0.027225	1	0.027225	0.00	0.9824
C:Flujo de bomba	312.05	1	312.05	5.71	0.0259
D: Conc. sólidos	413.309	1	413.309	7.56	0.0117
AA	85.1186	1	85.1186	1.56	0.2251
AB	120.418	1	120.418	2.20	0.1519
AC	0.294306	1	0.294306	0.01	0.9422
AD	41.3138	1	41.3138	0.76	0.3940
BB	339.31	1	339.31	6.21	0.0207
BC	33.5531	1	33.5531	0.61	0.4416
BD	9.22761	1	9.22761	0.17	0.6851
CC	194.721	1	194.721	3.56	0.0723
CD	0.138756	1	0.138756	0.00	0.9603
DD	337.193	1	337.193	6.17	0.0211
Bloques	965.16	1	965.16	17.66	0.0004
Error total	1202.22	22	54.6465		
Total (corr.)	4473.72	37			

R-cuadrada = 73.127 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 54.8045 porciento

Error estándar del est. = 7.39232

Error absoluto medio = 4.53987

Estadístico Durbin-Watson = 1.6927 (P=0.1701)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.0838104

Análisis de Varianza para el método FRAP

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	676.26	1	676.26	9.49	0.0055
B:Flujo de aire	59.367	1	59.367	0.83	0.3713
C:Flujo de bomba	4.01408	1	4.01408	0.06	0.8146
D: Conc. sólidos	361.951	1	361.951	5.08	0.0345
AA	65.3683	1	65.3683	0.92	0.3486
AB	22.8338	1	22.8338	0.32	0.5771
AC	21.9024	1	21.9024	0.31	0.5849
AD	332.113	1	332.113	4.66	0.0420
BB	395.466	1	395.466	5.55	0.0278
BC	133.287	1	133.287	1.87	0.1852
BD	1409.02	1	1409.02	19.77	0.0002
CC	41.2727	1	41.2727	0.58	0.4547
CD	71.9104	1	71.9104	1.01	0.3260
DD	68.3188	1	68.3188	0.96	0.3382
Bloques	3.71406	1	3.71406	0.05	0.8215
Error total	1567.8	22	71.2637		
Total (corr.)	5950.58	37			

R-cuadrada = 73.653 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 55.6891 porciento

Error estándar del est. = 8.44178

Error absoluto medio = 4.55764

Estadístico Durbin-Watson = 2.29692 (P=0.7484)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.22925

Análisis de Varianza para Fenoles Totales

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	330.512	1	330.512	0.01	0.9324
B:Flujo de aire	1582.45	1	1582.45	0.04	0.8529
C:Flujo de bomba	451360.	1	451360.	10.04	0.0044
D: Conc. sólidos	280418.	1	280418.	6.24	0.0205
AA	11359.9	1	11359.9	0.25	0.6201
AB	431447.	1	431447.	9.60	0.0052
AC	37981.1	1	37981.1	0.85	0.3679
AD	21200.8	1	21200.8	0.47	0.4994
BB	72413.7	1	72413.7	1.61	0.2176
BC	290745.	1	290745.	6.47	0.0185
BD	167.997	1	167.997	0.00	0.9518
CC	103742.	1	103742.	2.31	0.1429
CD	2332.65	1	2332.65	0.05	0.8219
DD	2792.19	1	2792.19	0.06	0.8055
Bloques	239.755	1	239.755	0.01	0.9424
Error total	988705.	22	44941.2		
Total (corr.)	2.44862E6	37			

R-cuadrada = 59.6219 porciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 32.0914 porciento

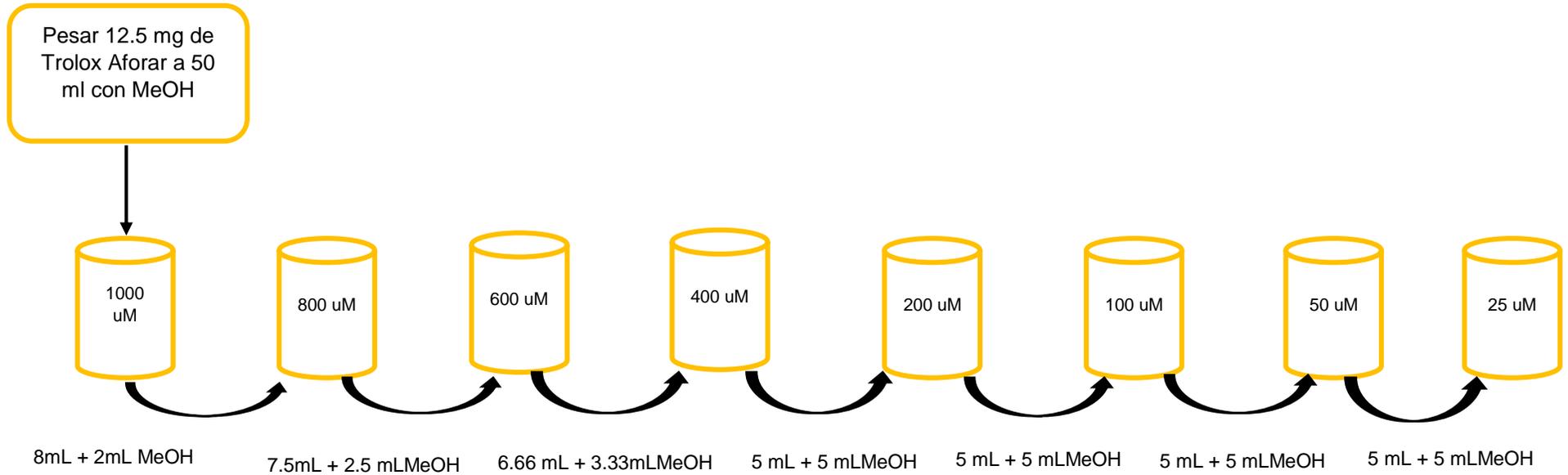
Error estándar del est. = 211.993

Error absoluto medio = 121.363

Estadístico Durbin-Watson = 2.60222 (P=0.9355)

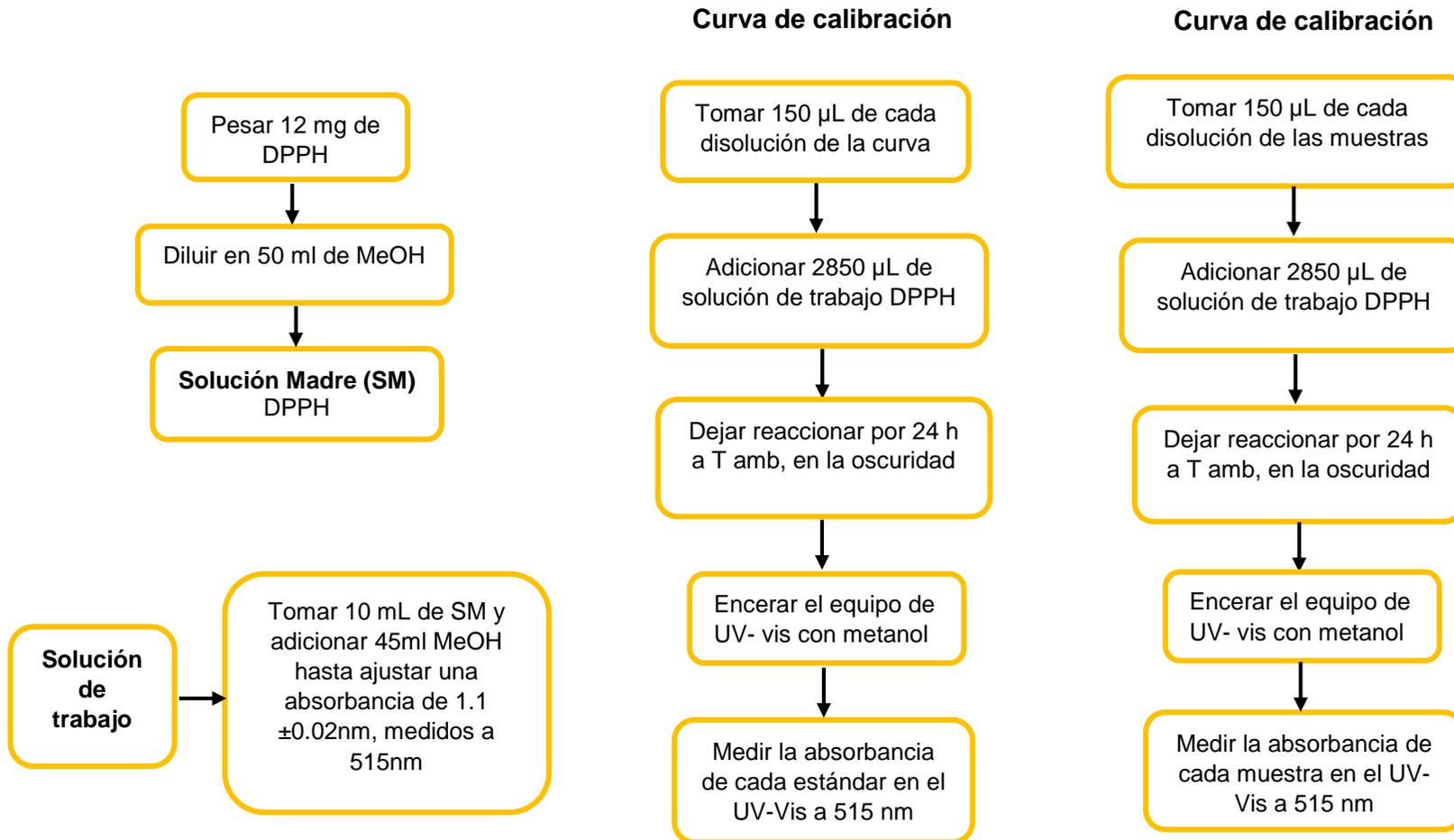
Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.353721

ANEXO 8. Esquema de preparación de las diluciones para la curva estándar de trolox



ANEXO 9. Esquema para determinar la actividad antioxidante por el método DPPH, Curva de calibración y cálculos

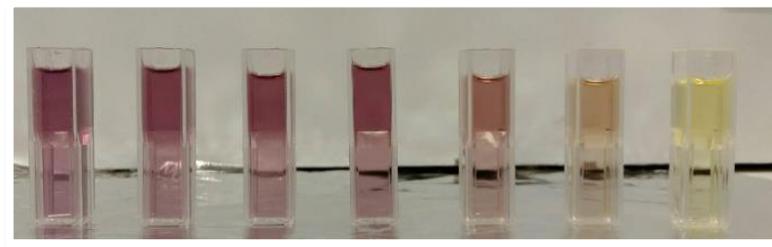
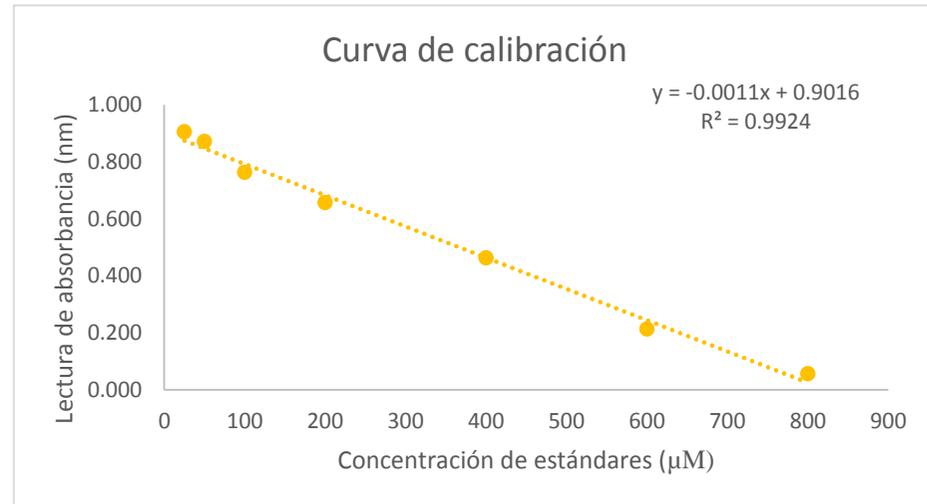
Esquema para determinar la actividad antioxidante por el método DPPH



ANEXO 8. Continuación

Curva de calibración

TROLOX	
Concentración μM	ABS
800	0.056
600	0.213
400	0.463
200	0.657
100	0.763
50	0.871
25	0.905
Pendiente	-0.001
Intersección	0.901631605
R	0.996192752
R²	0.9924



ANEXO 8. Continuación

❖ Preparación de la solución madre de trolox y estándares

Para determinar la concentración madre de trolox, se debe realizar la relación entre la cantidad pesada, el volumen a preparar y el peso molecular del compuesto.

$$\begin{array}{rcl} 250.29 \text{ g} & \times & 1000 \text{ mL} \text{ — } 1\text{M} \\ 0.0125 \text{ g} & \times & 50 \text{ mL} \text{ — } X \end{array}$$

$$X = 9.99 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$X = 998.84 \text{ } \mu\text{M}$$

De donde:

250.29 g Peso molecular del trolox

50 mL Volumen a preparar

1000 mL Volumen por definición de molaridad

1 M Concentración por definición de molaridad

0.0125 g Cantidad de trolox pesada

Como el reactivo no es 100% puro, se realiza la corrección con el porcentaje de pureza:

$$\begin{array}{rcl} 998.84 \text{ } \mu\text{M} & \times & 100\% \\ X & \times & 97\% \end{array}$$

$$X = 968.88 \text{ } \mu\text{M}$$

Una vez obtenido este valor, procedemos a calcular las concentraciones para los estándares, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_{o_{SM}} * V_{SM} = C_{o_{ST}} * V_{ST}$$

De donde:

$C_{o_{SM}}$: Concentración de la solución madre (μM)

V_{SM} : Volumen tomado de la solución madre

$C_{o_{ST}}$: Concentración del estándar (μM)

V_{ST} : Volumen a preparar del estándar

Si se toma una alícuota de 8 mL de la solución madre y se afora a 10 mL, el estándar tiene una concentración de:

$$C_{o_{ST}} = \frac{C_{o_{SM}} * V_{SM}}{V_{ST}} = \frac{968 \mu\text{M} * 8\text{mL}}{10\text{mL}} = 775.10 \mu\text{M}$$

❖ Cálculos para determinar la concentración en las muestras

Este procedimiento se realizó por medio de un retroceso, partiendo de la ecuación de la recta dada por la curva de calibración, los resultados se obtienen expresados en micromoles equivalentes de trolox por gramo de muestra.

$$y = mx + b$$

$$y = -0.0011x + 0.9016$$

De donde:

y = absorbancia (nm)

m = pendiente

x = concentración

b = intersección

si despejamos la concentración es decir x tenemos:

$$X = \frac{y - 0.9016}{-0.0011}$$

Reemplazamos el valor de la absorbancia en lugar de y , para este ejemplo tomaremos el valor del extracto a atomizar.

$$X = \frac{0.318 - 0.9016}{-0.0011} = 530.54 \mu\text{M}$$

Por definición esta concentración está dada para un litro de solución, pero nuestra muestra fue diluida en 10 mL, por lo tanto:

$$\frac{530.54 \mu\text{M}}{X} \times \frac{1000\text{mL}}{10\text{mL}}$$

$$X = 5.30 \mu\text{M}$$

Como la dilución se realizó tomando una alícuota de 0.05 mL de un volumen total de extracto de 2250 mL, entonces:

$$\frac{5.30 \mu M}{X} \times \frac{0.05 mL}{2550 mL}$$

$$X = 270578.18 \mu M$$

Esta concentración está presente en los 700 g de polvos tamizados de subproducto de mango que se usó para la extracción. Con el fin de comparar resultados se lo reporta en un peso de referencia de 1g, por lo tanto, se tiene:

$$\frac{270578.18 \mu M}{X} \times \frac{700 g}{1 g}$$

$$X = 386.54 \mu M \frac{ET}{gmuestra en BH}$$

Este valor está expresado en base húmeda, para pasarlo a base seca utilizamos el porcentaje de sólidos totales de la muestra:

$$\frac{386.54 \mu M}{X} \times \frac{95.99 \%}{100 \%}$$

$$X = 402.69 \mu M \frac{ET}{gmuestra en BS}$$

Los resultados también están expresados en μM ET/ g de extracto que es igual que expresarlos en μM ET/ g de atomizado.

Para determinar estos cálculos al igual que para el cálculo anterior se reemplazó la absorbancia en la recta dada por la curva de calibración:

$$y = mx + b$$

$$y = -0.0011x + 0.9016$$

De donde:

y = absorbancia (nm)

m = pendiente

x = concentración

b = intersección

si despejamos la concentración es decir x tenemos:

$$X = \frac{y - 0.9016}{-0.0011}$$

Reemplazamos el valor de la absorbancia en lugar de y , para este ejemplo tomaremos el valor del extracto a atomizar.

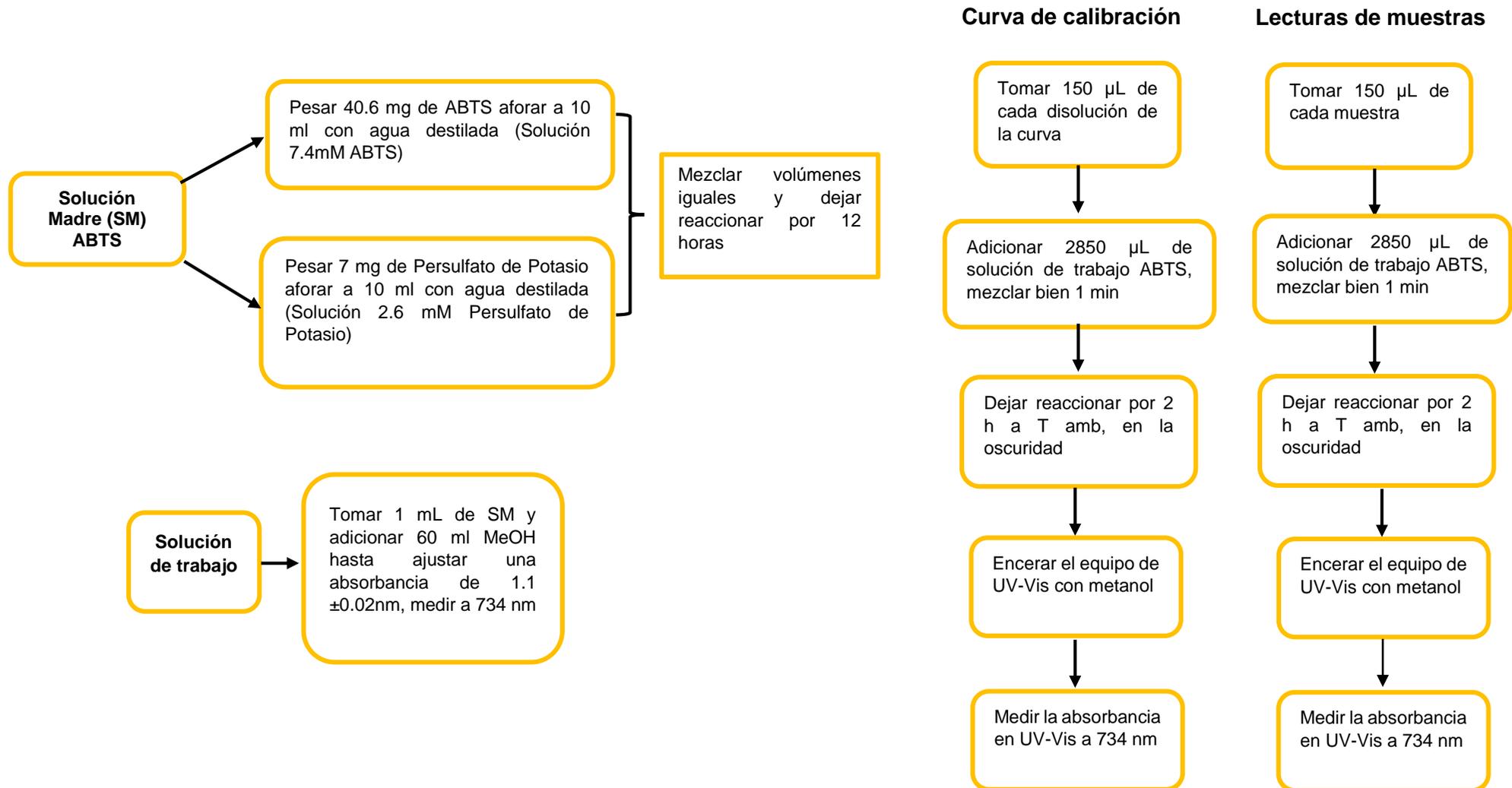
$$X = \frac{0.318 - 0.9016}{-0.0011} = 530.54 \mu M ET / L$$

Se determinó la concentración del extracto inicial la misma que fue 120.2 mg/ml, el factor de dilución fue de 200 para este extracto entonces:

$$\frac{\text{Concentracion } \mu\text{MET}}{L} * \frac{\text{ml de solución}}{\text{concentración inicial de ext. (mg)}} * \frac{1L}{1000\text{ml}} * \text{Factor de dilucion}$$
$$530.54 \frac{\mu\text{MET}}{L} * \frac{\text{ml sol}}{120.2\text{mgext}} * \frac{1L}{1000\text{ml}} * 200 = 0.882 \mu\text{MET} / \text{mgext}$$
$$= 882.77 \mu\text{MET} / \text{gext}$$

ANEXO 10. Esquema para determinar la actividad antioxidante por el método ABTS, curva de calibración y cálculos

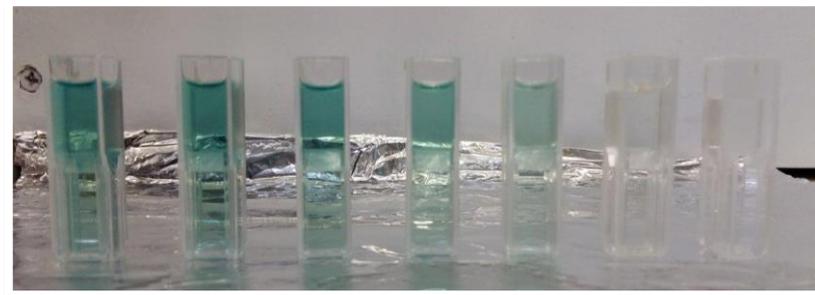
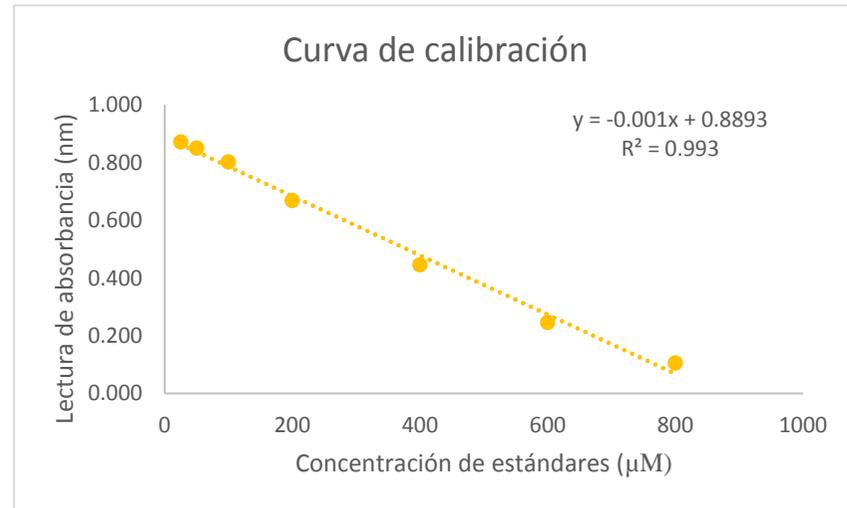
Esquema para determinar la actividad antioxidante por el método ABTS



ANEXO 9. Continuación

Curva de calibración

TROLOX	
Concentración μM	ABS
800	0.106
600	0.246
400	0.446
200	0.669
100	0.803
50	0.851
25	0.872
Pendiente	-0.001
Intersección	0.889
R	0.996
R2	0.993



ANEXO 9. Continuación

❖ Preparación de la solución madre de trolox y estándares

Para determinar la concentración madre de trolox, se debe realizar la relación entre la cantidad pesada, el volumen a preparar y el peso molecular del compuesto.

$$\begin{array}{rcl} 250.29 \text{ g} & \times & 1000 \text{ mL} \text{ — } 1\text{M} \\ 0.0125 \text{ g} & \times & 50 \text{ mL} \text{ — } X \end{array}$$

$$X = 9.99 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$X = 998,84 \text{ } \mu\text{M}$$

De donde:

250.29 g Peso molecular del trolox

50 mL Volumen a preparar

1000 mL Volumen por definición de molaridad

1 M Concentración por definición de molaridad

0.0125 g Cantidad de trolox pesada

Como el reactivo no es 100% puro, se realiza la corrección con el porcentaje de pureza:

$$\begin{array}{rcl} 998.84 \text{ } \mu\text{M} & \times & 100\% \\ X & \times & 97\% \end{array}$$

$$X = 968.88 \text{ } \mu\text{M}$$

Una vez obtenido este valor, procedemos a calcular las concentraciones para los estándares, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_{o_{SM}} * V_{SM} = C_{o_{ST}} * V_{ST}$$

De donde:

$C_{o_{SM}}$: Concentración de la solución madre (μM)

V_{SM} : Volumen tomado de la solución madre

$C_{o_{ST}}$: Concentración del estándar (μM)

V_{ST} : Volumen a preparar del estándar

Si se toma una alícuota de 8 mL de la solución madre y se afora a 10 mL, el estándar tiene una concentración de:

$$C_{o_{ST}} = \frac{C_{o_{SM}} * V_{SM}}{V_{ST}} = \frac{968.88 \mu M * 8 mL}{10 mL} = 775.10 \mu M$$

❖ Cálculos para determinar la concentración en las muestras

Este procedimiento se realizó por medio de un retroceso, partiendo de la ecuación de la recta dada por la curva de calibración, los resultados se obtienen expresados en micromoles equivalentes de trolox por gramo de muestra.

$$y = mx + b$$

$$y = -0.001x + 0.889$$

De donde:

y = absorbancia (nm)

m = pendiente

x = concentración

b = intersección

si despejamos la concentración es decir x tenemos:

$$X = \frac{y - 0.889}{-0.001}$$

Reemplazamos el valor de la absorbancia en lugar de y , para este ejemplo tomaremos el valor del extracto a atomizar.

$$X = \frac{0.291 - 0.889}{-0.001} = 598 \mu M$$

Por definición esta concentración está dada para un litro de solución, pero nuestra muestra fue diluida en 10 mL, por lo tanto:

$$\frac{598 \mu M}{X} \times \frac{1000 mL}{10 mL}$$
$$X = 5.98 \mu M$$

Como la dilución se realizó tomando una alícuota de 0.05 mL de un volumen total de extracto de 2250 mL, entonces:

$$\frac{5.98 \mu M}{X} \times \frac{0.05 mL}{2550 mL}$$

$$X = 304980 \mu M$$

Esta concentración está presente en los 700 g de polvos tamizados de subproducto de mango que se usó para la extracción. Con el fin de comparar resultados se lo reporta en un peso de referencia de 1g, por lo tanto, se tiene:

$$\frac{304980 \mu M}{X} \times \frac{700 g}{1 g}$$

$$X = 435.68 \mu M \frac{ET}{gmuestra en BH}$$

Este valor está expresado en base húmeda, para pasarlo a base seca utilizamos el porcentaje de sólidos totales de la muestra:

$$\frac{435.68 \mu M}{X} \times \frac{95.99 \%}{100 \%}$$

$$X = 453.88 \mu M \frac{ET}{gmuestra en BS}$$

Los resultados también están expresados en μM ET/ g de extracto que es igual que expresarlos en μM ET/ g de atomizado.

Para determinar estos cálculos al igual que para el cálculo anterior se reemplazó la absorbancia en la recta dada por la curva de calibración:

$$y = mx + b$$

$$y = -0.001x + 0.889$$

De donde:

y = absorbancia (nm)

m = pendiente

x = concentración

b = intersección

si despejamos la concentración es decir x tenemos:

$$X = \frac{y - 0.889}{-0.001}$$

Reemplazamos el valor de la absorbancia en lugar de y, para este ejemplo tomaremos el valor del extracto a atomizar.

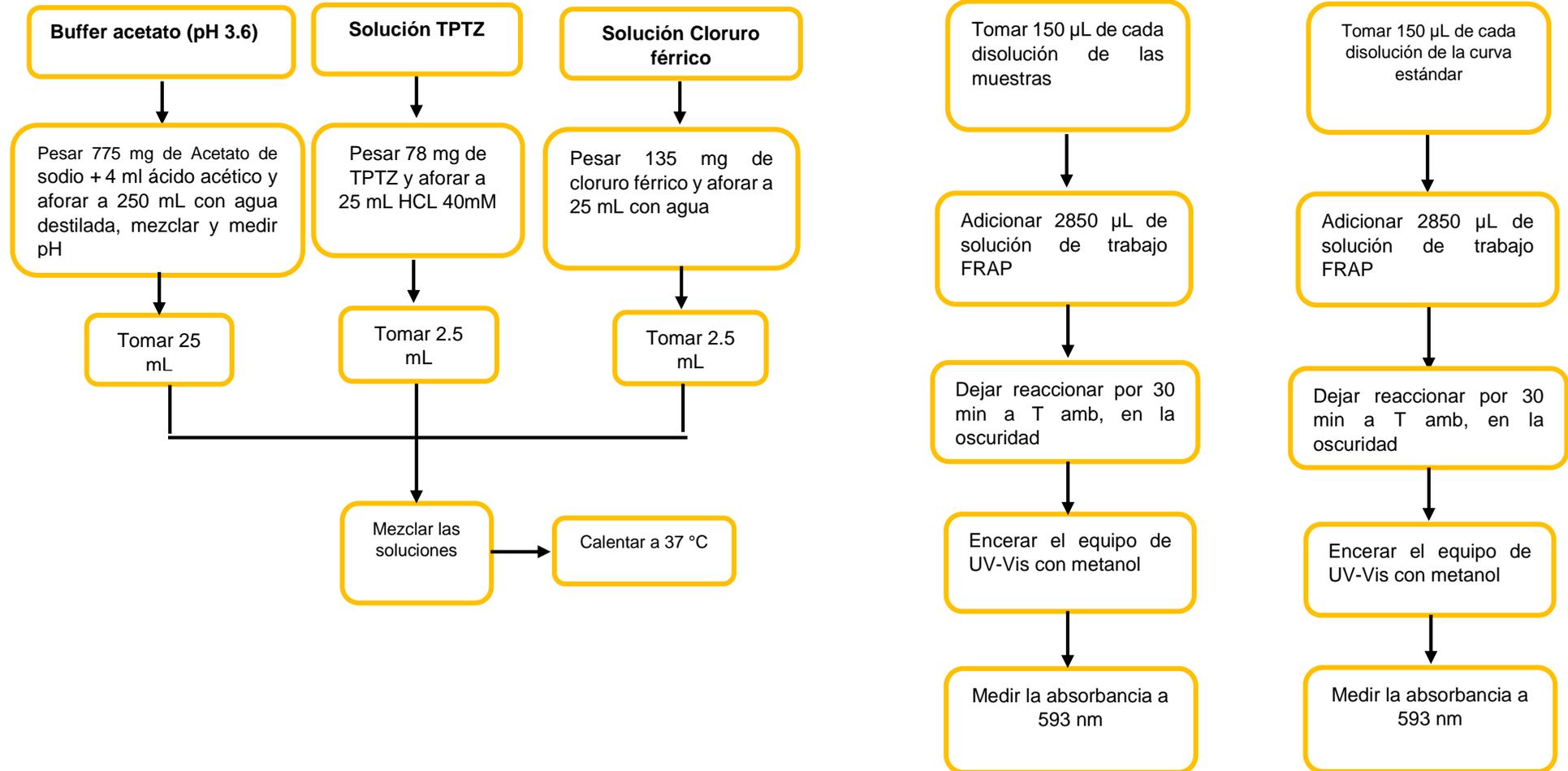
$$X = \frac{0.291 - 0.889}{-0.001} = 598 \mu M$$

Se determinó la concentración del extracto inicial la misma que fue 120.2 mg/ml, el factor de dilución fue de 200 para este extracto entonces:

$$\begin{aligned} & \frac{\text{Concentracion } \mu MET}{L} * \frac{\text{ml de solución}}{\text{concentración inicial de ext. (mg)}} * \frac{1L}{1000ml} * \text{Factor de dilucion} \\ & 598 \frac{\mu MET}{L} * \frac{\text{ml sol}}{120.2 mg_{ext}} * \frac{1L}{1000ml} * 200 = 0.995 \mu MET / mg_{ext} \\ & = 995.00 \mu MET / g_{ext} \end{aligned}$$

ANEXO 11. Esquema para determinar la actividad antioxidante por el método FRAP, Curva de calibración y cálculos.

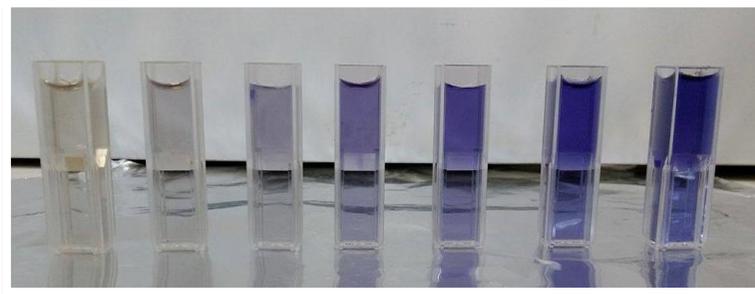
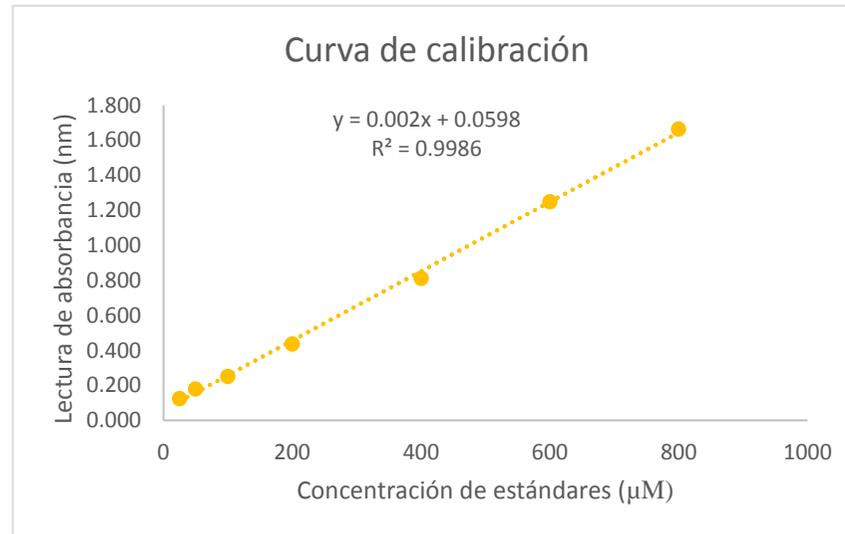
Esquema para determinar la actividad antioxidante por el método FRAP



ANEXO 10. Continuación

Curva de calibración

TROLOX	
Concentración μM	ABS
800	1.664
600	1.249
400	0.813
200	0.438
100	0.253
50	0.180
25	0.126
Pendiente	0.002
Intersección	0.060
R	0.999
R ²	0.9986



ANEXO 10. Continuación

❖ Preparación de la solución madre de trolox y estándares

Para determinar la concentración madre de trolox, se debe realizar la relación entre la cantidad pesada, el volumen a preparar y el peso molecular del compuesto.

$$\begin{array}{rcl} 250.29 \text{ g} & \times & 1000 \text{ mL} \text{ — } 1\text{M} \\ 0.0125 \text{ g} & \times & 50 \text{ mL} \text{ — } X \end{array}$$

$$X = 9.99 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$X = 998.84 \text{ } \mu\text{M}$$

De donde:

250.29 g Peso molecular del trolox

50 mL Volumen a preparar

1000 mL Volumen por definición de molaridad

1 M Concentración por definición de molaridad

0.0125 g Cantidad de trolox pesada

Como el reactivo no es 100% puro, se realiza la corrección con el porcentaje de pureza:

$$\begin{array}{rcl} 998.84 \text{ } \mu\text{M} & \times & 100\% \\ X & \times & 97\% \end{array}$$

$$X = 968.88 \text{ } \mu\text{M}$$

Una vez obtenido este valor, procedemos a calcular las concentraciones para los estándares, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$C_{o_{SM}} * V_{SM} = C_{o_{ST}} * V_{ST}$$

De donde:

$C_{o_{SM}}$: Concentración de la solución madre (μM)

V_{SM} : Volumen tomado de la solución madre

$C_{o_{ST}}$: Concentración del estándar (μM)

V_{ST} : Volumen a preparar del estándar

Si se toma una alícuota de 8 mL de la solución madre y se afora a 10 mL, el estándar tiene una concentración de:

$$C_{o_{ST}} = \frac{C_{o_{SM}} * V_{SM}}{V_{ST}} = \frac{968.88 \mu\text{M} * 8\text{mL}}{10\text{mL}} = 775.10 \mu\text{M}$$

❖ Cálculos para determinar la concentración en las muestras

Este procedimiento se realizó por medio de un retroceso, partiendo de la ecuación de la recta dada por la curva de calibración, los resultados se obtienen expresados en micromoles equivalentes de trolox por gramo de muestra.

$$y = mx + b$$

$$y = 0.002x + 0.0598$$

De donde:

y = absorbancia (nm)

m = pendiente

x = concentración

b = intersección

si despejamos la concentración es decir x tenemos:

$$X = \frac{y+0.0598}{0.002}$$

Reemplazamos el valor de la absorbancia en lugar de y , para este ejemplo tomaremos el valor del extracto a atomizar.

$$X = \frac{0.808 - 0.0598}{0.002} = 374.1 \mu\text{M}$$

Por definición esta concentración está dada para un litro de solución, pero nuestra muestra fue diluida en 10 mL, por lo tanto:

$$\frac{374.1 \mu\text{M}}{X} \times \frac{1000\text{mL}}{10\text{mL}}$$
$$X = 3.74 \mu\text{M}$$

Como la dilución se realizó tomando una alícuota de 0.05 mL de un volumen total de extracto de 2250 mL, entonces:

$$\frac{3.74 \mu M}{X} \times \frac{0.05 mL}{2550 mL}$$

$$X = 190740 \mu M$$

Esta concentración está presente en los 700 g de polvos tamizados de subproducto de mango que se usó para la extracción. Con el fin de comparar resultados se lo reporta en un peso de referencia de 1g, por lo tanto, se tiene:

$$\frac{190740 \mu M}{X} \times \frac{700 g}{1 g}$$

$$X = 272.48 \mu M \frac{ET}{gmuestra en BH}$$

Este valor está expresado en base húmeda, para pasarlo a base seca utilizamos el porcentaje de sólidos totales de la muestra:

$$\frac{272.48 \mu M}{X} \times \frac{95.99 \%}{100 \%}$$

$$X = 283.87 \mu M \frac{ET}{gmuestra en BS}$$

Los resultados también están expresados en μM ET/ g de extracto que es igual que expresarlos en μM ET/ g de atomizado.

Para determinar estos cálculos al igual que para el cálculo anterior se reemplazó la absorbancia en la recta dada por la curva de calibración:

$$y = mx + b$$

$$y = 0.002x + 0.0598$$

De donde:

y = absorbancia (nm)

m = pendiente

x = concentración

b = intersección

si despejamos la concentración es decir x tenemos:

$$X = \frac{y+0.0598}{0.002}$$

Reemplazamos el valor de la absorbancia en lugar de y, para este ejemplo tomaremos el valor del extracto a atomizar.

$$X = \frac{0.808 - 0.0598}{0.002} = 374.1 \mu M$$

Se determinó la concentración del extracto inicial la misma que fue 120.2 mg/ml, el factor de dilución fue de 200 para este extracto entonces:

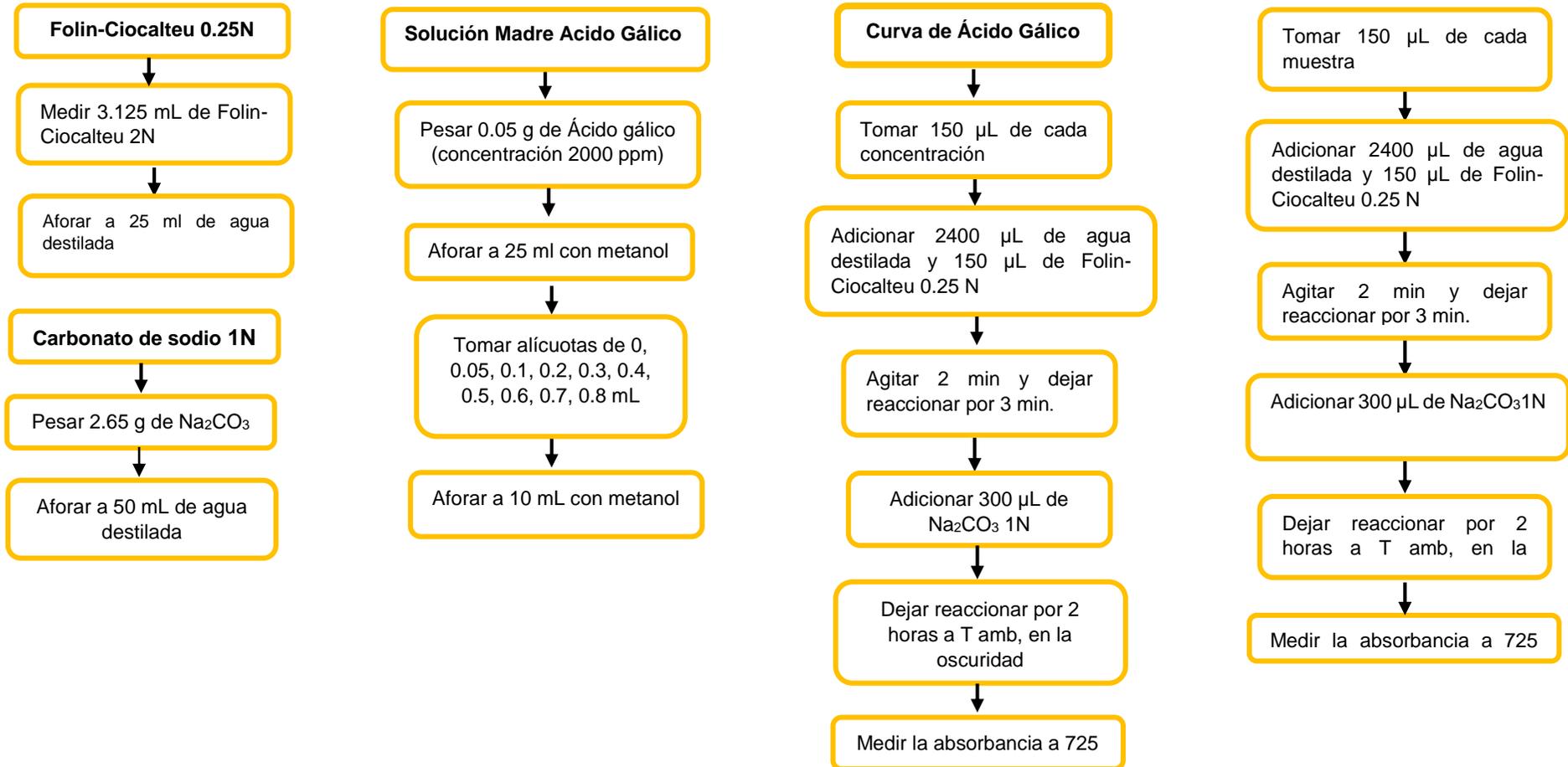
$$\begin{aligned} & \frac{\text{Concentración } \mu MET}{L} * \frac{\text{ml de solución}}{\text{concentración inicial de ext. (mg)}} * \frac{1L}{1000ml} * \text{Factor de dilución} \\ & 374.1 \frac{\mu MET}{L} * \frac{\text{ml sol}}{120.2 mgext} * \frac{1L}{1000ml} * 200 = 0.622 \mu MET / mgext \\ & = 622.46 \mu MET / gex \end{aligned}$$

ANEXO 12. Esquema para determinar fenoles totales, curva de calibración y cálculos.

Esquema para determinar fenoles totales

Disoluciones para curva de calibración

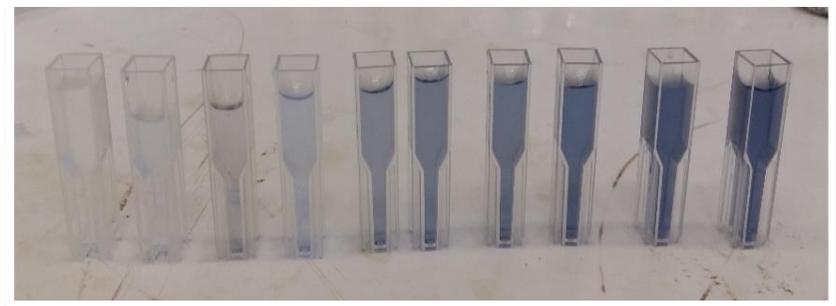
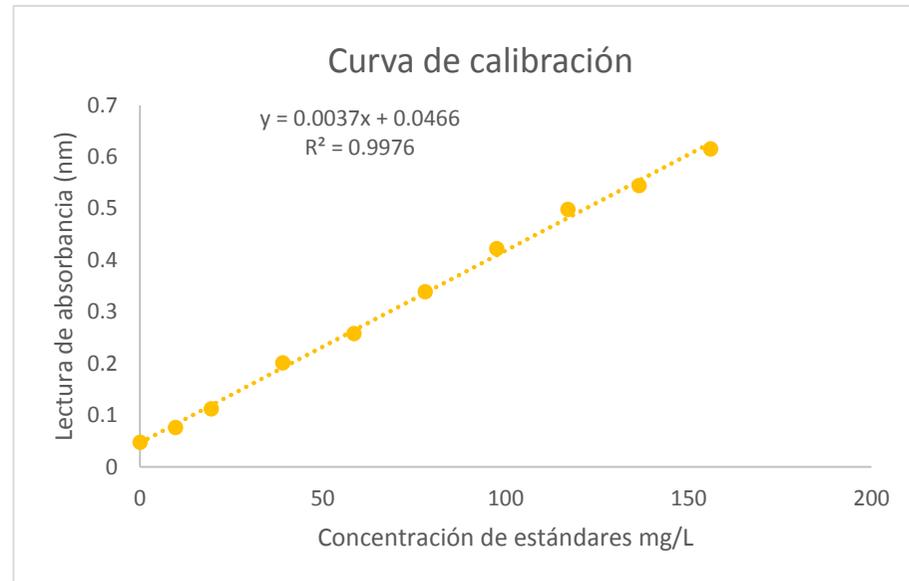
Lecturas de muestras



ANEXO 12. Continuación

Curva de calibración

Alicuota ml	Aforo ml	Co Acido gálico ml/L	Absorbancia nm
0	10	0	0.047
0.05	10	9.75	0.076
0.1	10	19.5	0.112
0.2	10	39	0.201
0.3	10	58.5	0.258
0.4	10	78	0.339
0.5	10	97.5	0.422
0.6	10	117	0.498
0.7	10	136.5	0.544
0.8	10	156	0.615
Pendiente			0.003717867
Intersección			0.046580781
R			0.998799279
R ²			0.9976



ANEXO 12. Continuación

❖ Preparación de la solución madre de ácido gálico y estándares

Para determinar la concentración madre de ácido gálico, se debe realizar la relación entre la cantidad pesada, el volumen a preparar y su porcentaje de pureza.

$$C_{o_{SM}} = \frac{m * p}{v} = \frac{0.05 \text{ g} * 0.975}{25 \text{ mL}} = 1.95 \times 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$C_{o_{SM}} = 1950 \text{ mg/L}$$

De donde:

$C_{o_{SM}}$ Concentración de la solución madre

m Cantidad pesada

p % de pureza

v volumen a preparar de solución madre

A partir de la concentración de la solución madre que fue 1950 mg/L, procedemos a calcular los volúmenes para los estándares con la siguiente ecuación:

$$C_{o_{SM}} * V_{SM} = C_{o_{ST}} * V_{ST}$$

De donde:

$C_{o_{SM}}$: Concentración de la solución madre (mg/L)

V_{SM} : Volumen tomado de la solución madre

$C_{o_{ST}}$: Concentración del estándar (mg/L)

V_{ST} : Volumen a preparar del estándar

Si se toma una alícuota de 0.1 mL de la solución madre y se afora a 10 mL, el estándar tiene una concentración de:

$$C_{o_{ST}} = \frac{C_{o_{SM}} * V_{SM}}{V_{ST}} = \frac{1950 \text{ ml/L} * 0.1 \text{ mL}}{10 \text{ mL}} = 19.5 \text{ ml/L}$$

❖ Cálculos para determinar la concentración

Este procedimiento se realizó por medio de un retroceso, partiendo de la ecuación de la recta dada por la curva de calibración, los resultados se obtienen expresados en miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 gramo de muestra.

$$y = mx + b$$

$$y = 0.0037x + 0.0466$$

De donde:

y = absorbancia (nm)

m = pendiente

x = concentración

b = intersección

si despejamos la concentración es decir x tenemos:

$$X = \frac{y-0.0466}{0.0037}$$

Reemplazamos el valor de la absorbancia en lugar de y , para este ejemplo tomaremos el valor del extracto a atomizar.

$$X = \frac{0.242 - 0.0466}{0.0037} = 52.81 \text{ mg/L}$$

Por definición esta concentración está dada para un litro de solución, pero nuestra muestra fue diluida en 10 mL, por lo tanto:

$$\frac{52.81 \text{ mg/L}}{X} \times \frac{1000\text{mL}}{10\text{mL}}$$
$$X = 0.528 \text{ ml/L}$$

Como la dilución se realizó tomando una alícuota de 0.05 mL de un volumen total de extracto de 2250 mL, entonces:

$$\frac{0.528\text{mg/L}}{X} \times \frac{0.05\text{mL}}{2550\text{mL}}$$
$$X = 26933.51 \text{ mg/L}$$

Esta concentración está presente en los 700 g de polvos tamizados de subproducto de mango que se usó para la extracción. Con el fin de comparar resultados se lo reporta en un peso de referencia de 100g, por lo tanto, se tiene:

$$\frac{26933.51 \text{ mg/L}}{X} \times \frac{700\text{g}}{100\text{g}}$$
$$X = 3847.65 \text{ mg} \frac{EAG}{100\text{gmuestra en BH}}$$

Este valor está expresado en base húmeda, para pasarlo a base seca utilizamos el porcentaje de sólidos totales de la muestra:

$$\frac{3847.65 \text{ mg}}{X} \times \frac{95.99 \%}{100 \%}$$

$$X = 4008.39 \frac{EAG}{100 \text{ gmuestra en BS}}$$

Los resultados también están expresados en $\mu\text{M ET/g}$ de extracto que es igual que expresarlos en $\mu\text{M ET/g}$ de atomizado.

Para determinar estos cálculos al igual que para el cálculo anterior se reemplazó la absorbancia en la recta dada por la curva de calibración:

$$y = mx + b$$

$$y = 0.0037x + 0.0466$$

De donde:

y = absorbancia (nm)

m = pendiente

x = concentración

b = intersección

si despejamos la concentración es decir x tenemos:

$$X = \frac{y - 0.0466}{0.0037}$$

Reemplazamos el valor de la absorbancia en lugar de y , para este ejemplo tomaremos el valor del extracto a atomizar.

$$X = \frac{0.242 - 0.0466}{0.0037} = 52.81 \text{ mg/L}$$

Se determinó la concentración del extracto inicial la misma que fue 120.2 mg/ml, el factor de dilución fue de 200 para este extracto entonces:

$$\frac{\text{Concentracion } \mu\text{MET}}{L} * \frac{\text{ml de solución}}{\text{concentración inicial de ext. (mg)}} * \frac{1L}{1000\text{ml}} * \text{Factor de dilucion}$$

$$52.81 \frac{\mu\text{MET}}{L} * \frac{\text{ml sol}}{120.2\text{mgext}} * \frac{1L}{1000\text{ml}} * 200 = 0.087 \mu\text{MET /mgext}$$

$$= 87.87 \mu\text{MET /mgext}$$

$$= 8787 \mu\text{MET /100mgext}$$

ANEXO 13. Valores óptimos teóricos y porcentajes de diferencia

Para realizar un ejemplo tomamos los valores que optimizan la variable de fenoles totales para sustituirlos en la ecuación de su modelo matemático dado por el análisis de superficie de respuesta, y así tenemos el valor óptimo teórico.

Condiciones óptimas	Fenoles totales
Temperatura °C	160
Flujo de aire (mm)	25
Flujo de bomba (%)	10
Concentración Sólidos (%)	2

Modelo matemático para valor óptimo teórico de fenoles totales

Ecuación de segundo orden

$$y = -7606.730 + 90.705*A + 305.354*B - 92.701*C + 94.249*D - 0.118*A^2 - 1.836*A*B + 0.162*A*C - 1.017*A*D - 1.195*B^2 + 0.899*B*C - 0.181*B*D + 0.636*C^2 + 0.201*C*D - 1.467*D^2$$

$$y = -7606.730 + 90.705*160 + 305.354*25 - 92.701*10 + 94.249*2 - 0.118*160^2 - 1.836*160*25 + 0.162*160*10 - 1.017*160*2 - 1.195*25^2 + 0.899*25*10 - 0.181*25*2 + 0.636*10^2 + 0.201*10*2 - 1.467*2^2$$

$$y = 2900.95 \text{ mg EAG/100g atomizado}$$

A= temperatura, B= Flujo de aire, C= Flujo de bomba, D= Fenoles totales

Ahora reemplazamos las condiciones que optimizan la variable de rendimiento en la ecuación del modelo matemático de fenoles totales.

Condiciones óptimas	Rendimiento
Temperatura °C	120
Flujo de aire (mm)	36
Flujo de bomba (%)	10
Concentración Sólidos (%)	2

Modelo matemático para fenoles totales reemplazando las variables que optimizan rendimiento

Ecuación de segundo orden

$$y = -7606.730 + 90.705*A + 305.354*B - 92.701*C + 94.249*D - 0.118*A^2 - 1.836*A*B + 0.162*A*C - 1.017*A*D - 1.195*B^2 + 0.899*B*C - 0.181*B*D + 0.636*C^2 + 0.201*C*D - 1.467*D^2$$

$$y = -7606.730 + 90.705 \cdot 120 + 305.354 \cdot 36 - 92.701 \cdot 10 + 94.249 \cdot 2 - 0.118 \cdot 120^2 - 1.836 \cdot 120 \cdot 36 + 0.162 \cdot 120 \cdot 10 - 1.017 \cdot 120^2 - 1.195 \cdot 36^2 + 0.899 \cdot 36 \cdot 10 - 0.181 \cdot 36^2 + 0.636 \cdot 10^2 + 0.201 \cdot 10 \cdot 2 - 1.467 \cdot 2^2$$

$$y = 2675.34 \text{ (mg EAG/100g atomizado)}$$

A= temperatura, B= Flujo de aire, C= Flujo de bomba, D= Fenoles totales

Finalmente para determinamos el % al que corresponde el contenido de fenoles totales usando las condiciones de rendimiento:

2900.95 mg EAG/100g ext	100%
2675.34 mg EAG/100g ext	X

Por diferencia obtenemos el % de diferencia:

$100\% - 92.22\% = 7.78\%$ redondeando = 8%

Este procedimiento se siguió para determinar todos los porcentajes de diferencia, reemplazando en cada ecuación del modelo matemático dado por el análisis de superficie de respuesta.