



# UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

*La Universidad Católica de Loja*

## ÁREA BIOLÓGICA

TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIAS AGROPECUARIAS

**Optimización de la adsorción/desorción de compuestos fenólicos en resinas macroporosas**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**AUTOR:** Nagua Quezada, Diego Armando

**DIRECTOR:** Meneses Chamba, Miguel Ángel PhD.

LOJA-ECUADOR

2016



*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, 2016

## **APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Doctor.

Miguel Ángel Meneses Chamba

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Optimización de la adsorción/desorción de compuestos fenólicos en resinas macroporosas realizado por Nagua Quezada Diego Armando ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Marzo de 2016

f).....

PhD. Meneses Chamba Miguel Ángel

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Nagua Quezada Diego Armando declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: Optimización de la adsorción/desorción de compuestos fenólicos en resinas macroporosas, de la Titulación de Ingeniería en Industrias Agropecuarias, siendo el Dr. Miguel Ángel Meneses Chamba 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 grados o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f).....

Nagua Quezada Diego Armando

1104877731

## **DEDICATORIA**

A mi familia que siempre ha estado presente en todas las etapas de mi vida, sin ellos yo no estuviera cumpliendo una meta más, gracias por su apoyo incondicional que me acompañaron durante este recorrido.

Gracias a ustedes estoy donde estoy y por siempre confiar en mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por permitirme llegar a este momento de mi vida, por su bendición y su sabiduría que me ha ayudado en los momentos más difíciles.

A mi familia que siempre ha estado en todo momento, gracias por su paciencia, ayuda y confianza para culminar con este objetivo.

Al Dr. Miguel Ángel Meneses quien como director de mi trabajo de titulación supo brindarme su apoyo, sus conocimientos, la paciencia y la ayuda necesaria para desarrollar satisfactoriamente mi trabajo.

A los docentes del Departamento de Ciencias Agropecuarias y de Alimentos que compartieron sus experiencias y sus conocimientos.

A los amigos y compañeros que conocí durante esta etapa gracias por su amistad y sus consejos.

Gracias a todos.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	x
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xi
NOMENCLATURA .....	xii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
I.REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
1.1 Fuentes de antioxidantes .....	5
1.2 Aprovechamiento de subproductos.....	5
1.3 Mango .....	6
1.4 Extracción de compuestos fenólicos.....	6
1.5 Adsorción en resinas .....	7
1.6 Isotermas de adsorción .....	8
1.7 Capacidad de adsorción.....	9
1.8 Adsorción continua .....	10
II.OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo general.....	12
2.2 Objetivo específico .....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	13
3.1 Reactivos y equipos.....	14
3.1.1 Reactivos.....	14
3.1.2 Equipos .....	14
3.2 Materia prima.....	14
3.3 Caracterización de materia prima .....	15
3.3.1 Determinación de humedad.....	15
3.3.2 Determinación de acidez. ....	15
3.3.3 Determinación de sólidos solubles totales. ....	15
3.3.4 Determinación de índice de madurez.....	15

3.4 Preparación de materia prima .....	15
3.5 Extracción de compuestos antioxidantes.....	16
3.6 Resinas macroporosas .....	16
3.6.1 Pre acondicionamiento. ....	17
3.7 Adsorción/desorción estática.....	17
3.8 Cinética de adsorción .....	18
3.9 Isotermas de adsorción y termodinámica .....	19
3.10 Pruebas de adsorción/desorción dinámica .....	19
3.11 Determinación de actividad antioxidante .....	20
3.11.1 Método DPPH .....	20
3.11.2 Método ABTS.....	20
3.11.3 Determinación de fenoles totales .....	21
3.12 Determinación de azúcares.....	21
3.13 Análisis estadístico .....	21
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
4.1 Caracterización de la materia prima.....	24
4.2 Rendimiento de extracción de subproducto de mango .....	24
4.2 Adsorción y desorción estática.....	25
4.3 Cinética de adsorción .....	27
4.3 Isotermas de adsorción y termodinámica .....	28
4.4 Adsorción/desorción dinámica.....	29
4.5 Composición química y azúcares en los extractos .....	31
CONCLUSIONES.....	33
RECOMENDACIONES .....	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35
ANEXOS.....	38



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estructura de una resina macroporosa .....	8
<b>Figura 2:</b> Isotherma de adsorción de safranina sobre partículas de arroz .....	9
<b>Figura 3:</b> Adsorción continúa de compuestos fenólicos .....	10

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Fuentes antioxidantes de subproductos agroindustriales.....	5
<b>Tabla 2:</b> Propiedades químicas y físicas de las resinas .....	16
<b>Tabla 3:</b> Caracterización físico-química de subproductos de mango .....	24
<b>Tabla 4:</b> Parámetros de extracción.....	24
<b>Tabla 5:</b> Capacidad de adsorción, desorción y recuperación de fenoles totales en ensayos estáticos.....	26
<b>Tabla 6:</b> Parámetros de pseudo modelos de primer y segundo orden con velocidades constantes de resinas calculados sobre la base del total de compuestos fenólicos.....	27
<b>Tabla 7:</b> Constantes de la ecuación de Langmuir y Freundlich de fenoles totales sobre la resina DIAION HP-20.....	28
<b>Tabla 8:</b> Constantes de la ecuación de Langmuir y Freundlich de fenoles totales sobre la resina DSC-18..	28
<b>Tabla 9:</b> Contenido de azúcares, fenoles totales y trólox en subproductos de mango y en el extracto purificado de mango .....	31

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1:</b> Adsorción y desorción de fenoles totales .....	25
<b>Gráfica 2:</b> Cinética de adsorción de fenoles totales.....	27
<b>Gráfica 3:</b> Adsorción/Desorción dinámica de fenoles totales en la resina DIAION HP-20.....	30
<b>Gráfica 4:</b> Extractos de subproductos de mango en la resina DIAION HP-20 .....	31

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A:</b> Tratamiento de materia prima.....	39
<b>ANEXO B:</b> Extracción de compuestos fenólicos.....	40
<b>ANEXO C:</b> Pre acondicionamiento de las resinas.....	41
<b>ANEXO D:</b> Proceso de Adsorción/Desorción estática.....	41
<b>ANEXO E:</b> Proceso de cinética de adsorción.....	42
<b>ANEXO F:</b> Proceso de isothermas de adsorción y termodinámica.....	42
<b>ANEXO G:</b> Proceso de adsorción/desorción dinámica.....	43
<b>ANEXO H:</b> Determinación de actividad antioxidante por el método DPPH.....	44
<b>ANEXO I:</b> Determinación de actividad antioxidante por el método ABTS.....	45
<b>ANEXO J:</b> Determinación de fenoles totales.....	46
<b>ANEXO K:</b> Determinación de azúcares.....	47
<b>ANEXO L:</b> Curva de calibración y preparación de actividad antioxidante por el método DPPH, ABTS y fenoles totales.....	48
<b>ANEXO M:</b> Datos y cálculos de adsorción/desorción estática.....	51
<b>ANEXO N:</b> Datos sobre cinética de adsorción en la dilución 1:1.....	55
<b>ANEXO O:</b> Datos sobre isothermas de adsorción y termodinámica en la dilución 1:1.....	58
<b>ANEXO P:</b> Datos de adsorción/desorción dinámica en la dilución 1:1.....	59
<b>ANEXO Q:</b> Datos y cálculos sobre el contenido de azúcares en los extractos.....	62
<b>ANEXO R:</b> Análisis estadístico.....	63

## NOMENCLATURA

<b>μm:</b>	Micrómetros
<b>ABTS:</b>	2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolín-6-súlfónico)
<b>Ac.G:</b>	Ácido gálico
<b>Ce:</b>	Concentración en equilibrio de los extractos
<b>Co:</b>	Concentración inicial de los extractos
<b>DPPH:</b>	2,2-difenil-1-picrilhidrazilo
<b>g:</b>	Gramo
<b>mL:</b>	Mililitro
<b>N:</b>	Normal
<b>qd:</b>	Capacidad de desorción
<b>qe:</b>	Capacidad de adsorción
<b>qm:</b>	Cantidad máxima de adsorción
<b>qt:</b>	Cantidad de fenoles totales absorbidos
<b>R:</b>	Recuperación
<b>Trólox:</b>	Ácido 6-hidroxi-2, 5, 7, 8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico
<b>VL:</b>	Volumen de lecho
<b>KL:</b>	Constante de afinidad

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue optimizar los parámetros de la adsorción/desorción de compuestos fenólicos en extractos de subproductos de mango (*Mangifera indica* L.) usando resinas macroporosas. La extracción se realizó con acetona-agua (80:20). El tamaño de la partícula de la muestra estuvo entre 200-250  $\mu\text{m}$ . Se estudiaron dos resinas (DIAION HP-20 y DSC-18), estudiando diferentes diluciones de los extractos (1:1, 1:2, 1:3 y 1:4). Los ensayos estáticos de adsorción demostraron que la dilución 1:1 tuvo una relación y capacidad de adsorción y desorción mayor que las demás diluciones estudiadas. Los ensayos de cinética de adsorción e isothermas revelaron que las 2 resinas tienen la misma eficiencia de adsorción y el mismo tiempo para alcanzar el equilibrio de adsorción. La adsorción dinámica en la resina DIAION HP-20 demostró que los compuestos fenólicos en el extracto de mango comenzaron a extraerse después de 5 volúmenes de lecho, la desorción completa se logró antes de los 4 volúmenes de lecho de etanol al 99%. El rendimiento del extracto concentrado fue de 4 g por cada 100 g de subproducto. La concentración de azúcares se redujo 10 veces en el extracto final.

**Palabras clave:** mango, subproductos, resinas macroporosas, isoterma de adsorción, adsorción, desorción, actividad antioxidante, compuestos fenólicos.

## ABSTRACT

The aim of the investigation was to optimize the parameters in the adsorption / desorption of phenolic compounds from extracts of mango (*Mangifera indica* L.) by-products using macroporous resins. Mango by-products were milled until 200-250 µm. Extraction was performed with acetone-water (80:20). Two resins were studied DIAION-HP 20, DSC-18, at different dilutions of the extracts (1:1, 1:2, 1:3, and 1:4). Results from static assays showed that 1:1 dilution ratio had the larger adsorption capacity than the others studied. The adsorption isotherms assay shown that the 2 resins have similar adsorption efficiency and the same time to reach equilibrium. The dynamic adsorption in DIAION HP-20 resin, showed that the phenolic compounds in mango extract began to be removed after 5 bed volumes, the complete desorption was achieved before 4 bed volumes of 99% ethanol. The yield of concentrated extract was 4 g per 100 g of by-product. In the final extract the sugar concentration was reduced 10 times.

**Keywords:** mango, by-products, macroporous resins, adsorption isotherm, adsorption, desorption, antioxidant activity, phenolic compounds.

## INTRODUCCIÓN

La industria de procesamiento de frutas no se ocupa del gran porcentaje de subproductos, tales como cáscaras, semilla y pulpa no utilizada, generados en los diferentes pasos de cadenas de procesamiento. Estos subproductos desperdiciados presentan contenidos altos de compuestos bioactivos (Ayala-Zavala et al., 2011; Kong et al., 2010).

En el procesamiento industrial de mango se generan volúmenes de residuos que oscilan entre 35-65% del volumen original (Berardini et al., 2005; Larrauri et al., 1996), estos consisten en piel, semillas, y fibra pulposa los cuales son usados como fuente de fibra y compuestos fenólicos (Schieber et al., 2003). La recuperación de compuestos fenólicos puede darse como ingrediente funcional en la producción de alimentos (Martínez et al., 2012).

Durante la extracción de los compuestos fenólicos se da la coextracción de diferentes compuestos entre ellos azúcares, colorantes, sales y ácidos orgánicos; siendo necesario en estos casos una etapa de separación (G. Weisz et al., 2013). Una de las técnicas empleadas en la separación de estas sustancias es la absorción/desorción en resinas macroporosas (Soto et al., 2011).

Las resinas son adsorbentes sintéticos que incluyen materiales con naturaleza hidrófila o hidrófoba, tal como el poliestireno-divinilbenceno, copolímeros, polimetacrilato, divinilbenceno-etivinilbenceno y vinilpiridina (Soto et al., 2011). Los adsorbentes sintéticos tienen algunas ventajas como su durabilidad, son químicamente inertes y estables, poseen alta capacidad de adsorción, son eficientes, de bajo costo y toxicidad limitada (Scordino et al., 2003, 2004).

La tecnología de adsorción en resinas se usa para concentrar polifenoles y eliminar azúcares (Kammerer et al., 2005), las resinas sintéticas permiten la adsorción de los polifenoles de soluciones acuosas a través de la unión hidrófoba, para realizar la desorción de estos compuestos se los realiza en disolventes orgánicos como metanol o etanol (Buran et al., 2014).

Este proyecto se plantea usar diferentes resinas macroporosas de uso alimenticio y determinar las mejores condiciones de absorción/desorción para maximizar la recuperación de compuestos fenólicos obtenidos de los extractos de los subproductos de mango



## **I. REVISIÓN DE LITERATURA**

## 1.1 Fuentes de antioxidantes

Las frutas, vegetales y cualquier material vegetal contienen gran cantidad de antioxidantes incluyendo compuestos fenólicos (Ajila et al., 2007). Los subproductos agroindustriales son reconocidos como una fuente potencial de compuestos antioxidantes (Ayala-Zavala et al., 2011). A manera de resumen en la tabla 1 se indican algunas fuentes de antioxidantes provenientes de subproductos agroindustriales que generalmente son desechadas (Ajila et al., 2007).

**Tabla 1:** Fuentes antioxidantes de subproductos agroindustriales

Fruta	Subproducto	Compuesto principal	Referencia
Guayaba	Pulpa, semilla, piel	Compuestos fenólicos, ácido ascórbico, carotenoides	(Ayala-Zavala et al., 2011)
Mango	Pulpa, semilla, piel	Ácido gálico, quercetina, polifenoles	galotaninos, mangiferina, (Masibo & He, 2008)
Banano	Pulpa, piel	Compuestos fenólicos, ácido ascórbico, carotenoides	(Ayala-Zavala et al., 2011)

Elaboración: El autor

## 1.2 Aprovechamiento de subproductos

La industria de procesamiento de alimentos genera grandes cantidades de desechos líquidos y sólidos, que contienen principalmente materia orgánica biodegradable y su disposición crea graves problemas al medio ambiente (Makris et al., 2007).

Los subproductos son los productos secundarios que se obtienen al procesar frutas, vegetales, cereales entre otros (Nigam & Pandey, 2009), generalmente se componen de piel y semillas de diferentes formas y tamaños que no tienen algún uso específico dentro del producto obtenido y son comúnmente desechados (Ayala-Zavala et al., 2010). Diferentes estudios han demostrado que estos subproductos contienen una gran cantidad de compuestos fenólicos (González-Paramás et al., 2004)

### **1.3 Mango**

El mango (*Mangifera indica* L.) pertenece a la familia Anacardiaceae, es una de las frutas más cultivadas en el mundo (Ashoush & Gadallah, 2011). Es una fuente natural de antioxidantes y la cantidad de compuestos fenólicos varía según la parte del mango: piel, pulpa, semillas (Masibo & He, 2008).

En el procesamiento industrial del mango se genera alrededor del 35-60% de subproductos del peso total de la fruta (Larrauri et al., 1996), que comprende piel (9-40%) y pulpa adherida a la piel (7-24%) (Berardini et al., 2005). En varios casos son subproductos que no tiene algún uso comercial, a pesar de tener una gran cantidad de polifenoles extraíbles (Schieber et al., 2003).

Algunos estudios han reportado que los extractos de esta fruta tienen actividades antiviral, antibacteriana analgésica, anti-inflamatoria (Barreto et al., 2008). Engels et al. (2009) indica que la piel y semilla del mango son una fuente importante de compuestos bioactivos tales como pectina, polifenoles, manguiferina y ácidos grasos poliinsaturados en la semilla. Schieber et al. (2003) y Ajila et al. (2007) mencionan que la piel de mango tiene importante concentración de polifenoles y compuestos antioxidantes.

Los principales azúcares que se encuentran en la mayoría de las frutas son glucosa, fructosa y sacarosa (Rambla et al., 1997), así también en los subproductos de mango están presentes estos compuestos.

### **1.4 Extracción de compuestos fenólicos**

La extracción es el paso inicial en el aislamiento de componentes bioactivos a partir de materiales vegetales, el objetivo es obtener la máxima concentración de compuestos y la mayor actividad fisiológica con los extractos (Spigno et al., 2007).

La extracción de compuestos bioactivos está influenciada por la naturaleza química de los compuestos, técnica de extracción, disolvente de extracción, naturaleza de los componentes de interés, propiedades fisicoquímicas de la matriz, disponibilidad de reactivos y equipos, coste y problemas de seguridad (Musa et al., 2011).

En muchos casos durante la extracción de compuestos fenólicos se da la co-extracción de diferentes compuestos que no son objeto del estudio entre ellos azúcares, ácidos orgánicos

y proteínas, por lo cual es necesario en estos casos una etapa de separación (Ignat et al., 2011).

### **1.5 Adsorción en resinas**

La tecnología de adsorción en resinas se utiliza para concentrar y purificar polifenoles, y eliminar azúcares en los extractos (Soto et al., 2011). Juang and Shiau (1999) mencionan que la adsorción en fase líquida es eficaz para recoger sólidos en suspensión como materia orgánica y aceites. Las resinas macroporosas tienen una capacidad de adsorción inferior para la mayoría de compuestos orgánicos, sin embargo pueden eliminar selectivamente compuestos orgánicos de bajo peso molecular (Kammerer et al., 2005).

Las resinas macroporosas tienen una gran superficie específica, un tamaño pequeño y una estructura hueca en capa, son polímeros con propiedades duraderas polares, no polares o ligeramente hidrófilos y alta capacidad de adsorción (Lv et al., 2008). Debido a estas propiedades físicas las resinas adsorbentes son empleadas por la industria farmacéutica para la purificación de aminoácidos y péptidos, antibióticos, vitaminas, y para recuperar compuestos fenólicos de productos y subproductos de la industria de procesamiento de alimentos (Scordino et al., 2004).

Las resinas macroporosas son adsorbentes poliméricos sintéticos que son perlas esféricas porosas, 0.5 mm de diámetro, cada perla es un conjunto de microesferas,  $10^{-4}$  mm de diámetro. El material es sintético, fabricado de monómeros polimerizables de dos tipos principales. Los fabricados a partir de aromáticos insaturados como estireno y divinilbenceno, son útiles para la absorción de orgánicos no polares a partir de soluciones acuosas. Los fabricados a partir de esteres acrílicos son adecuados para solutos más polares. Se utilizan principalmente en el tratamiento de soluciones acuosas, se regeneran por lixiviación con alcoholes o cetonas de bajo peso molecular (Treybal, 1988).



**Figura 1:** Estructura de una resina macroporosa

**Fuente:** Geng et al. (2009)

Según varios estudios de adsorción en compuestos fenólicos las resinas más utilizadas son XAD-16 de estructura de estireno-divinilbenceno (Abhuri, 2003; Bretag et al., 2009; Kammerer et al., 2005; Silva et al., 2007; Soto et al., 2011; G. M. Weisz et al., 2013), XAD-4 de estructura acrílica (Buran et al., 2014; Ku & Lee, 2000; Li et al., 2001; Scordino et al., 2004; Zeng et al., 2009), XAD-7 de estructura acrílica (Buran et al., 2014; Scordino et al., 2004; Silva et al., 2007; Soto et al., 2011), XAD-1180 de estructura de estireno-divinilbenceno (Buran et al., 2014; Scordino et al., 2004), EXA-90 y EXA-118 de estructura de estireno-divinilbenceno (Scordino et al., 2004; Silva et al., 2007).

Esta operación permite la separación de compuestos, a partir de soluciones acuosas. En comparación con otras tecnologías, la adsorción tiene varias ventajas como la simplicidad del diseño, alta capacidad, facilidad de regeneración y de bajo costo, además evita el uso de disolventes tóxicos y minimiza la degradación (Ma et al., 2009).

### 1.6 Isotermas de adsorción

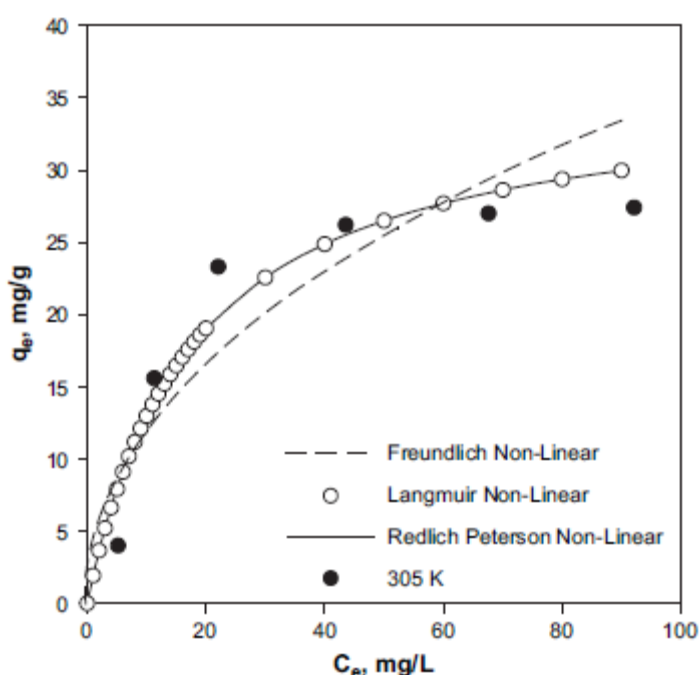
Las isotermas de adsorción se define como las interacciones entre adsorbato y adsorbente (Soto et al., 2011), describe el fenómeno de regular la retención o la movilidad de una sustancia acuosa a una fase sólida a una temperatura constante (Foo & Hameed, 2010).

El equilibrio de adsorción se establece cuando una fase que contiene adsorbato se ha puesto en contacto con el adsorbente durante un tiempo suficiente (Kumar & Sivanesan, 2007). Para evaluar la isoterma de adsorción se utiliza las ecuaciones de dos parámetros los isotermas de Langmuir y Freundlich (Soto et al., 2011).

La isoterma de Langmuir es la ecuación más utilizada, además asume varias hipótesis: las energías de adsorción son uniformes a lo largo de la superficie adsorbente, la afinidad del

soluto es igual en todos los sitios de adsorción, y la interacción entre las moléculas adsorbidas (Bretag et al., 2009).

La isoterma de Freundlich es una ecuación empírica es adecuada para sistemas no ideales con superficies altamente heterogéneas, esto no implica la formación de una monocapa y con frecuencia da una buena interpretación de datos a través de un rango de concentración restringido (Ahmaruzzaman, 2008). Esta ecuación es útil cuando se ignora la identidad real del soluto, como la adsorción de sustancias coloradas en materiales como soluciones de azúcares y aceites minerales.



**Figura 2:** Isotherma de adsorción de safranina sobre partículas de arroz

**Fuente:** Kumar and Sivanesan (2007)

### 1.7 Capacidad de adsorción

La capacidad de adsorción de un sistema depende de factores tales como las propiedades del adsorbente (porosidad, área superficial, tamaño de partícula) y adsorbato (estructura, solubilidad en agua, carga iónica, polaridad, peso molecular), así como condiciones de la solución (disolvente, pH, temperatura, fuerza iónica, concentración de soluto), las interacciones en el interfaz sólido-líquido y el tipo de diseño experimental (Soto et al., 2011).

La capacidad de adsorción depende de los parámetros termodinámicos tales como el cambio de energía libre de Gibbs ( $\Delta G^\circ$ ), cambio de entalpía ( $\Delta H^\circ$ ) y la variación de entropía

( $\Delta S^\circ$ ) (Soto et al., 2011). La capacidad máxima de adsorción  $q_{\max}$  (mg/g) en compuestos fenólicos usando una resina macroprosa usando como adsorbente el diclorobenceno es de 78.7 mg/g (Pan et al., 2008).

### 1.8 Adsorción continua

La adsorción de flujo continuo se realiza en columnas de lecho fijo ofreciendo altos rendimientos en este proceso (Soto et al., 2011). En esta operación el fluido y el adsorbente están en contacto en todo el aparato sin separaciones periódicas de las fases. La operación puede realizarse en forma estrictamente continua, en estado estacionario, caracterizada por el movimiento del sólido igual que del fluido (Treybal, 1988).



**Figura 3:** Adsorción continua de compuestos fenólicos

**Fuente:** El Autor

De modo alternativo a causa de la rigidez de las partículas del adsorbente sólido, también es posible operar con ventajas de manera semicontinua, caracterizada por un fluido móvil y un sólido estacionario. Esta operación tiene como resultado condiciones en estado no estacionario, en donde las composiciones en el sistema cambian con el tiempo (Treybal, 1988).

## **II.OBJETIVOS**



## **2.1 Objetivo general**

Proponer el aprovechamiento de extractos antioxidantes de subproductos de frutas a través del uso de tecnologías de separación con adsorción en resinas macroporosas.

## **2.2 Objetivo específico**

Optimizar los parámetros de absorción/desorción en resinas macroporosas para la recuperación y purificación de compuestos antioxidantes en extractos de subproductos de mango.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### 3.1 Reactivos y equipos

#### 3.1.1 Reactivos

El solvente empleado para la extracción fue de grado analítico: acetona (Merck).

**Fenoles Totales:** Folín-Ciocalteu 2N (Sigma-Aldrich), Carbonato de sodio (Merck), Ácido gálico (Sigma), Metanol (Panreac Química S.A.).

**ABTS:** 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolín-6-sulfónico) (Sigma), persulfato de potasio (Sigma-Aldrich), (ácido 6-hidroxi-2, 5, 7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) Trólox (Aldrich Chemistry)

**DPPH:** 2,2-difenil-picrilhidrazilo (Sigma), (ácido 6-hidroxi-2, 5, 7, 8 tetrametilcromo-2- ácido carboxílico) Trólox (Aldrich Chemistry)

#### 3.1.2 Equipos

- Balanza analítica (OHAUS)
- Baño María (Precision Scientific)
- Centrífuga (DYNAC)
- Espectrómetro visible 6400 (Jenway®)
- Estufa de tiro forzado (Cole Parmer)
- Rotaevaporador (Buchi)
- Juego de tamices (Humboldt)
- Licuadora (Oster)
- Micropipetas (Thermo Scientific)

### 3.2 Materia prima

Se trabajó con subproductos de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Tommy Atkins que consisten en piel y pulpa adherida que fueron adquiridas en el supermercado Supermaxi de la ciudad de Loja.

### 3.3 Caracterización de materia prima

La materia prima fue caracterizada para estandarizar las condiciones de los subproductos de mango, los análisis realizados fueron: humedad, color, acidez, sólidos solubles totales e índice de madurez, como se detallan a continuación:

#### 3.3.1 Determinación de humedad.

El contenido de humedad del mango se determinó bajo el método descrito por la técnica AOAC 934.06 (2005) basado en la pérdida de peso por evaporación de agua hasta obtener un peso constante. El resultado se obtuvo por diferencias de pesos, como lo muestra la Ec. (1)

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

#### 3.3.2 Determinación de acidez.

La determinación de acidez titulable se realizó de acuerdo al procedimiento descrito en el método de la AOAC 942.15 (2005). El porcentaje de acidez se expresó como porcentaje de ácido cítrico utilizando la Ec. (2)

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(\text{gasto de NaOH en mL})(\text{Normalidad del agente titulable})(P \text{ eq. ácido cítrico})}{\text{Alícuota de la muestra (mL)} * 10} \text{ Ec. (2)}$$

#### 3.3.3 Determinación de sólidos solubles totales.

Para determinar el contenido de sólidos solubles totales de la muestra se utilizó el refractómetro colocando de 1 a 2 gotas del líquido de los subproductos de mango, el resultado se expresó como °Brix.

#### 3.3.4 Determinación de índice de madurez.

Para determinar el índice de madurez (IM) de la fruta se utilizaron los resultados de los análisis anteriores, y se lo define como el cociente entre °Brix y la acidez titulable. (Ec. 3).

$$IM = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{\text{Acidez}} \text{ Ec. (3)}$$

### 3.4 Preparación de materia prima

La muestra fue deshidrata a 60°C, hasta llegar a una humedad menor o igual al 10% (Kong et al., 2010). La muestra fue molida y separada con ayuda de juego de tamices. Se trabajó

con la fracción entre 200 y 250  $\mu\text{m}$ . En el anexo A se detalla el tratamiento a la materia prima.

### 3.5 Extracción de compuestos antioxidantes

Se colocaron 100 g de muestra a maceración dinámica, la misma se realizó a temperatura ambiente. Se agregaron 1000 mL de acetona-agua en relación 8:2 (volumen: volumen), por un tiempo de 6 horas. Luego de la maceración dinámica, la solución se pasó por una centrifuga marca Dynac a 2000 rpm por 30 minutos, se separó el sobrenadante del residuo, este último se trató con 1000 mL de acetona al 80% y se agitó durante 30 minutos a temperatura ambiente (25°C).

Tras centrifugar nuevamente a 2000 rpm por 30 minutos, se obtuvo un residuo y un sobrenadante que se combinó con el anterior, estos sobrenadantes fueron filtrados al vacío y concentrados en un rotaevaporador a 40°C a vacío (Benites Vílchez et al., 2010), eliminando el solvente (acetona) hasta obtener un extracto acuoso. En el anexo B se detalla el procedimiento de extracción de compuestos fenólicos.

Para realizar las pruebas de adsorción el extracto acuoso fue diluido con agua destilada en diferentes relaciones (v/v) desde 1:1 hasta 1:4. El rendimiento de extracción se expresó como el porcentaje respecto al peso de material seco (Ec.4):

$$\text{Rend. extr. (\%)} = \frac{g \text{ extr.seco}}{g \text{ de muestra}} * 100 \text{ Ec. (4)}$$

### 3.6 Resinas macroporosas

Las propiedades químicas y físicas de las resinas utilizadas en los ensayos se indican en la tabla 2:

**Tabla 2:** Propiedades químicas y físicas de las resinas

Resinas	Matriz química	Área de superficie ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Tamaño de partícula ( $\mu\text{m}$ )
DIAION HP-20	Estireno-divinilbenceno	500	250-850
DSC-18	Sílice a base de gel	480	50

Fuente: Sigma-Aldrich (2015)

### 3.6.1 Pre acondicionamiento.

Las resinas fueron lavadas en una columna de vidrio, se utilizó etanol al 99%, las resinas fueron lavadas en primera instancia con NaOH al 4%, seguido de agua destilada hasta que el efluente tenga un pH neutro, seguidamente se realizó un segundo lavado con HCl al 5%, seguido de agua destilada hasta que el efluente tenga un pH de 7.0, todos estos lavados se los realizó con un caudal de 400mL/h. Las resinas pre tratadas fueron pesadas y colocadas en una estufa a 60°C, la pérdida de peso se calculó como el contenido de humedad. En el anexo C se detalla el pre acondicionamiento realizado a las resinas

### 3.7 Adsorción/desorción estática

Se realizó según la metodología de Buran et al. (2014), que consistió en pesar 1 g de resina y mezclar con 25 mL de extracto. La adsorción se realizó a temperatura ambiente (25°C) en un baño con agitación a 45 rpm durante 24 horas. En las pruebas de desorción se usaron 25 mL de agua destilada, después del lavado con agua se agregaron 50 mL de etanol al 99%, a temperatura ambiente (25°C) en baño en similares condiciones de agitación. En el anexo D se detalla el proceso de adsorción/desorción estática.

Las relaciones y capacidades de adsorción/desorción se calcularon utilizando las siguientes ecuaciones Ec. (5,6, 7, 8 ,9):

#### Relación de adsorción

$$A(\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \text{ Ec. (5)}$$

#### Capacidad de adsorción

$$q_e = C_0 - (C_e) * \frac{(V_i)}{W} \text{ Ec. (6)}$$

En donde:

$A$  = relación de adsorción (%)

$q_e$  = capacidad de adsorción (mg/g) de resina seca

$C_0$  y  $C_e$  = concentración inicial y en equilibrio de los extractos (mg/L)

$M$  = humedad de la resina (w/w, %)

$W$  = peso inicial de la resina (g)

$V_i = \text{volumen del extracto (mL)}$

### Relación de desorción

$$D\% = C_d \frac{V_d}{(C_0 - C_e)V_i} * 100 \text{ Ec. (7)}$$

### Capacidad de desorción

$$q_d = C_d * \frac{V_d}{W} \text{ Ec. (8)}$$

### Porcentaje de recuperación

$$R = \frac{C_d V_d}{C_0 V_i} * 100\% \text{ Ec. (9)}$$

En donde:

$D\% = \text{relación de desorción (\%)}$

$q_d = \text{capacidad de desorción (mg/g de resina seca)}$

$R = \text{recuperación (\%) después de que se completó la desorción}$

$C_d = \text{concentración de fenoles totales en la solución de desorción (mg/L)}$

$V_d = \text{volumen de la solución de desorción (mL)}$

### 3.8 Cinética de adsorción

Se realizó según la metodología de Buran et al. (2014), que consistió en pesar 1g de resina y mezclar con 25 mL de extracto. La adsorción se la realizó a temperatura ambiente (25°C) en un baño con agitación a 45 rpm. Se tomó una alícuota (1 mL) del sobrenadante cada 30 minutos para las 6 primeras horas, y luego cada 60 minutos las 6 horas restantes. En el anexo E se detalla el proceso de cinética de adsorción.

La cinética de adsorción fue ajustada usando los pseudo modelos de primer y segundo orden (Ec. 10 y Ec. 11):

#### Pseudo Modelo primer orden

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_f t \text{ Ec. (10)}$$

### Pseudo Modelo segundo orden

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_s q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{Ec. (11)}$$

En donde:

$k_f$  = constante de la velocidad de adsorción del pseudo modelo de primer orden

$k_s$  = constante de la velocidad de adsorción del pseudo modelo de segundo orden

$qt$  = cantidad de fenoles totales adsorbidos (mg/g)

$t$  = tiempo

$q_e$  = capacidad de absorción en equilibrio

### 3.9 Isotermas de adsorción y termodinámica

Se realizó según la metodología de Buran et al. (2014), la cual consistió en pesar 1g de resina y se mezclaron con 25 mL de extracto. La adsorción se realizó a tres temperaturas diferentes (25, 35 y 45 °C) en un baño de agua con agitación a 45 rpm durante 24 horas. En el anexo F se detalla el proceso de isotermas de adsorción y termodinámica.

Las isotermas de adsorción en equilibrio para fenoles totales fueron determinadas usando las ecuaciones de Langmuir y Freundlich (Ec. 12 y Ec. 13):

#### Ecuación Langmuir

$$q_e = \frac{q_m C_e}{K_L + C_e} \quad \text{Ec. (12)}$$

#### Ecuación Freundlich

$$q_e = K_F (C_e)^{1/n} \quad \text{Ec. (13)}$$

En donde:

$qm$  = cantidad máxima de absorción (mg/g)

$K_L$  = constante de afinidad

### 3.10 Pruebas de adsorción/desorción dinámica



Se realizó según la metodología de Buran et al. (2014), se trabajó en una columna de vidrio, a la cual se le cargó con un volumen de resina macroporosa (volumen de lecho: VL) de 20 mL, el extracto fue cargado a una velocidad de flujo de 2, 5 y 10 volúmenes de lecho por hora (VL/h). La columna de adsorción se lavó con 5 VL de agua para eliminar los azúcares y otros compuesto que no se absorbieron en la resina, los polifenoles absorbidos por la resinas fueron lavados con etanol al 99% en una velocidad de 2, 4 y 6 VL/h, posteriormente los eluyentes fueron recogidos y se analizó su actividad antioxidante, contenido de fenoles totales y azúcares. En el anexo G se detalla el proceso de adsorción/desorción dinámica.

### **3.11 Determinación de actividad antioxidante**

El trólox es el estándar de referencia que se utilizó para hacer reaccionar a la muestra con un determinado reactivo.

#### **3.11.1 Método DPPH**

El ensayo de DPPH se realizó basándose en la técnica de Brand-Williams et al. (1995), con algunas modificaciones descritas por Thaipong et al. (2006). Se preparó una solución patrón disolviendo 24 mg de DPPH en 100 mL de metanol. La solución de trabajo se preparó mezclando 10 mL de solución patrón con 45 mL de metanol hasta obtener una lectura en absorbancia de  $1.1 \pm 0.02$  unidades a una longitud de onda de 515 nm en un espectrómetro UV. Se emplearon curvas estándar de trólox con concentraciones entre 25-800  $\mu\text{M}$ . De cada concentración así como de cada muestra se tomó 150  $\mu\text{L}$  en un vial, se adicionaron 2850  $\mu\text{L}$  de la solución de trabajo de DPPH y se dejó reaccionar por 24 horas en la obscuridad a temperatura ambiente, para posteriormente medir la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm. Los resultados fueron expresados en miligramos de Trólox por gramo de extracto (mg Trólox/g extracto). En el anexo H se describe el diagrama del método DPPH.

#### **3.11.2 Método ABTS**

Se empleó el método de Arnao et al. (2001) con algunas modificaciones descritas por Thaipong et al. (2006). Se prepararon dos soluciones: ABTS (0.04060 g) y persulfato de potasio (0.0070 g), se mezcló estas soluciones y se dejó reposar por 12 horas de tal forma se obtuvo la solución patrón de ABTS. La solución de trabajo se preparó mezclando 1 mL de solución patrón con 60 mL de metanol hasta obtener una lectura en absorbancia de  $1,1 \pm 0,02$  unidades a una longitud de onda de 734 nm en un espectrómetro UV. Se emplearon curvas estándar de trólox con concentraciones entre 25-800  $\mu\text{M}$ . De cada concentración así

como de cada muestra se tomaron 150  $\mu\text{L}$  en un vial, se adicionaron 2850  $\mu\text{L}$  de la solución de trabajo de ABTS y se dejó reaccionar por 2 horas en la obscuridad a temperatura ambiente, para posteriormente medir la absorbancia a una longitud de onda de 734 nm. Los resultados fueron expresados en miligramos de Trólox por gramo de extracto (mg Trólox/g extracto). En el anexo I se describe el diagrama del método ABTS.

### **3.11.3 Determinación de fenoles totales**

Se utilizó el método de Folin-Ciocalteu, utilizando las modificaciones descritas por Kong et al. (2010) y Thaipong et al. (2006). Se preparó una solución a 0,25 N de Folin y una solución de carbonato de sodio a 1N. Se tomaron 150  $\mu\text{L}$  de extracto, 2400  $\mu\text{L}$  de agua y 150  $\mu\text{L}$  de 0,25 N de Folin-Ciocalteu, se combinaron en un vial y se agitaron por 5 minutos, la solución se la dejó reaccionar por 3 minutos y se añadió 300  $\mu\text{L}$  de carbonato de sodio (1N), la solución se la incubó a temperatura ambiente en obscuridad por 2 horas. La absorbancia se midió a 725 nm usando un espectrómetro UV y se emplearon curvas estándar de ácido gálico a concentraciones entre: 0,02 y 0,1 mg de ácido gálico. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico (mg GAE/ 100 g MS). Los resultados fueron expresados en miligramos de ácido gálico por gramo de extracto (mg ácido gálico/g extracto). En el anexo J se describe el método sobre determinación de fenoles totales.

### **3.12 Determinación de azúcares**

Se utilizó el método fenol-acido descrito por Dubois et al. (2002), se tomaron 200  $\mu\text{L}$  de muestra diluida (0-100  $\mu\text{L}$  glucosa/ 2mL), se adicionaron 50  $\mu\text{L}$  de fenol al 80% y 5 mL de ácido sulfúrico al 98% y se agito. Se dejó reposar por 10 minutos a temperatura ambiente y otros 10 minutos a 25 °C y luego se agitó. Finalmente se midió la absorbancia a una longitud de onda de 490 nm. Los resultados fueron expresados en miligramos de glucosa por gramo de extracto (mg glucosa/g extracto). En el anexo K se describe el método sobre determinación de azúcares.

### **3.13 Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos se expresaron como media  $\pm$  desviación típica y fueron analizados estadísticamente a través del programa Minitab 16, por medio de un análisis de varianza

(ANOVA) y prueba de rangos múltiples (Tukey) con un nivel de confianza del 95% para determinar si existió diferencia significativa entre las diluciones y las resinas utilizadas.

#### **IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### 4.1 Caracterización de la materia prima

La caracterización de los subproductos de mango fresco variedad Tommy Atkins se realizó homogenizando 2 diferentes lotes, los datos se detallan en la tabla 3, conjuntamente con los datos reportados en literatura.

**Tabla 3:** Caracterización físico-química de subproductos de mango

Propiedad	Muestra	Referencia
% Humedad	71.34	78.68
% Acidez	0.24	0.23
°Brix	25.65	35.85
IM	106.88	155.87

**Fuente:** Carrera et al. (2008)

**Elaboración:** El autor

Al realizar la comparación entre la muestra estudiada y la de referencia poseen características físicas y químicas muy similares, indicando la mayor diferencia en el índice de madurez de cada una, el cual depende generalmente del tiempo después de la cosecha que la fruta tuvo antes de ser estudiada. Los datos muestran que los frutos se encontraban maduros, lo que se relaciona con los compuestos bioactivos como compuestos fenólicos, mejorando de esta manera la capacidad antioxidante del fruto (Repo & Encina 2008).

#### 4.2 Rendimiento de extracción de subproducto de mango

La tabla 4 indica los parámetros utilizados en la extracción

**Tabla 4:** Parámetros de extracción

Parámetro	Valor
Tamaño de partícula	200 y 250 $\mu\text{m}$
Disolvente	Acetona-Agua
Tiempo de maceración	6 horas
% Rendimiento *	11.21 $\pm$ 0.63

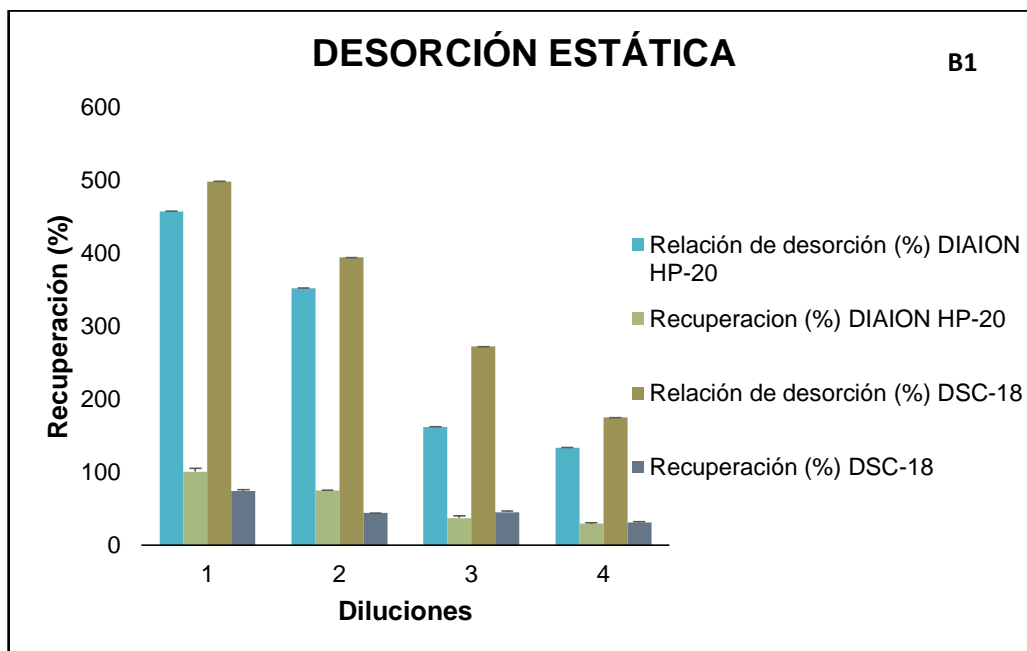
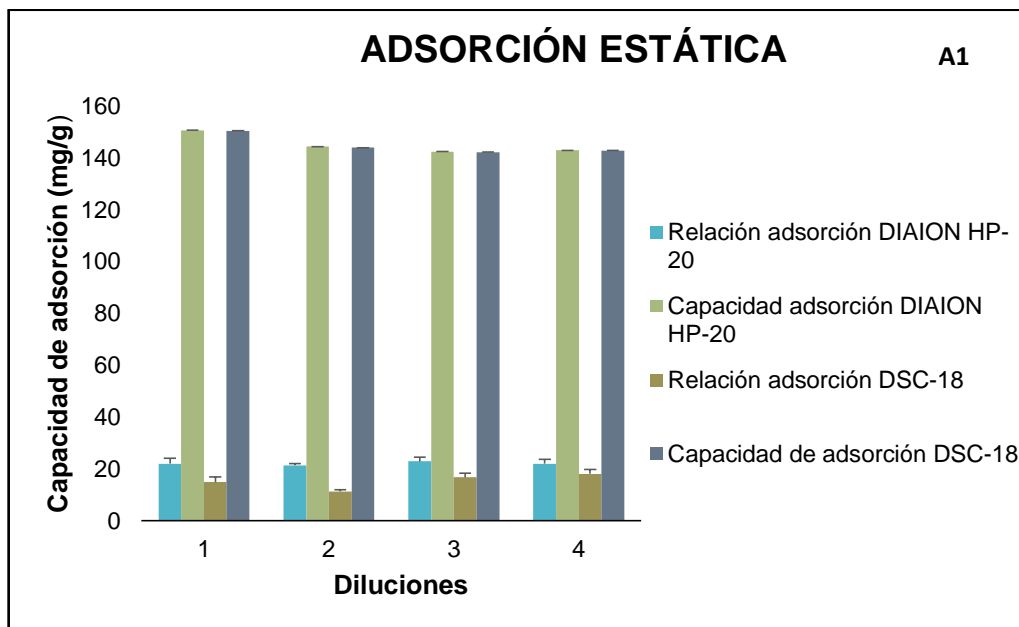
\* Media con tres repeticiones experimentales

**Fuente:** La experimentación

**Elaboración:** El autor

## 4.2 Adsorción y desorción estática

En la gráfica 1 se presentan los comportamientos de adsorción (A1) y desorción (B1) de fenoles totales en las resinas estudiadas.



**Gráfica 1:** Adsorción y desorción de fenoles totales

**Fuente:** La experimentación

**Elaboración:** El autor

En la tabla 5 se indica la capacidad de adsorción, capacidad de desorción y el porcentaje de recuperación de las diferentes diluciones en las resinas DIAION HP-20 y DSC-18.

**Tabla 5:** Capacidad de adsorción, desorción y recuperación de fenoles totales en ensayos estáticos

Dilución	qe (mg/g resina)		qd (mg/g resina)		R (%)	
	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18
1:1	150.71 ± 2.00 <sup>Aa</sup>	150.43 ± 1.98 <sup>Aa</sup>	3.86 ± 0.18 <sup>Aa</sup>	2.85 ± 0.10 <sup>Ab</sup>	100.43 ± 4.71 <sup>Aa</sup>	74.20 ± 1.86 <sup>Ab</sup>
1:2	144.36 ± 0.72 <sup>Ba</sup>	143.99 ± 0.71 <sup>Ba</sup>	2.76 ± 0.01 <sup>Ba</sup>	1.62 ± 0.02 <sup>Bb</sup>	74.90 ± 0.70 <sup>Ba</sup>	43.90 ± 0.22 <sup>Bb</sup>
1:3	142.50 ± 1.63 <sup>Ba</sup>	142.27 ± 1.65 <sup>Ba</sup>	1.35 ± 0.11 <sup>Ca</sup>	1.64 ± 0.04 <sup>Cb</sup>	37.11 ± 3.07 <sup>Ca</sup>	45.30 ± 1.53 <sup>Cb</sup>
1:4	142.96 ± 1.65 <sup>Ba</sup>	142.82 ± 1.68 <sup>Ba</sup>	1.07 ± 0.05 <sup>Ca</sup>	1.14 ± 0.03 <sup>Cb</sup>	29.31 ± 1.16 <sup>Ca</sup>	31.27 ± 1.12 <sup>Cb</sup>

Cada valor es la media ± desviación estándar de tres replicas experimentales. Las medias entre columnas que no comparten una misma letra mayúscula (diluciones) y letra minúscula (resinas) son significativamente diferentes. **qe**: Capacidad de adsorción, **qd**: Capacidad de desorción, **R**: recuperación.

**Elaboración:** El autor

La dilución 1:1 presentó mayor capacidad de adsorción y relación de adsorción 150.71 mg/g y 22.04% como se presentan en la tabla 5 y la figura 1 respectivamente. Todas las diluciones presentaron mayor capacidad de adsorción en las 2 resinas utilizadas (Figura 1), esto se debe a la superficie del área de la resinas son iguales 500-480 m<sup>2</sup>/g (Buran et al., 2014). Xu et al. (1999) y Scordino et al. (2004) mencionan que la superficie de área y el tamaño del poro son los factores determinantes en la capacidad de adsorción, no así en la relación de adsorción (%) ya que las diluciones utilizadas con la resina DIAION HP-20 presentaron mayor relación de adsorción que las utilizadas con la resina DSC-18 (Figura 1) (Anexo M).

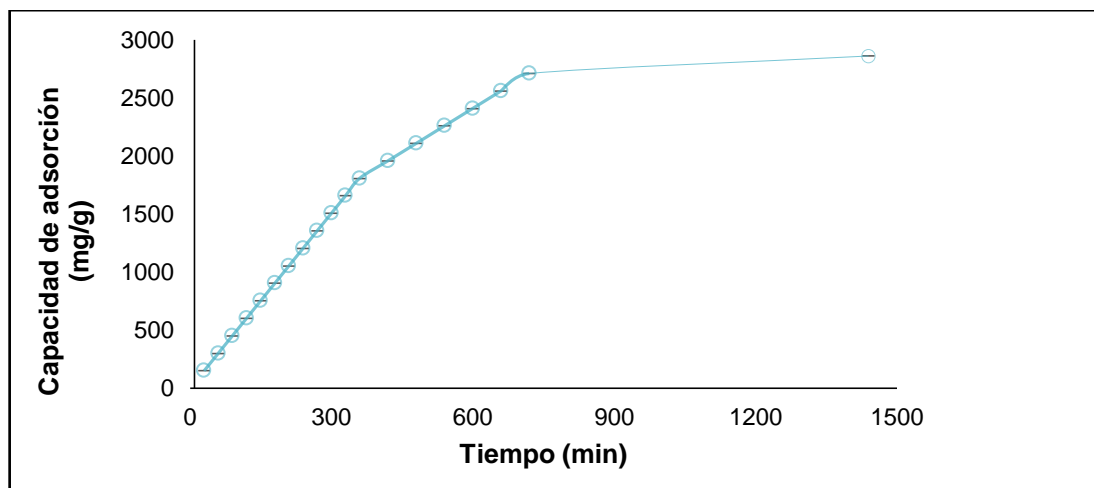
En contraste con la desorción la resina DSC-18 presentó mayor relación de desorción en las 4 diluciones en comparación con la DIAION HP-20.

Sin embargo en la resina DIAION HP-20 presentó mayor porcentaje de recuperación (Tabla 5), esta característica se debe al tamaño del poro que fue de 250-850 µm, Buran et al. (2014) menciona que las resinas con grandes tamaños de partículas tienen a tener altos cambios de masa ya que permite transferir más material hacia la resina aumentando así la relación de desorción y la recuperación.

Los ensayos de adsorción/desorción estáticos demostraron que la disolución 1:1 fue la más eficiente en la capacidad de adsorción, capacidad de desorción y presentó un mayor porcentaje de recuperación por la cual se la eligió para los ensayos cinéticos en las resinas DIAION HP-20 y DSC-18.

### 4.3 Cinética de adsorción

La cinética de adsorción de fenoles totales en resinas DIAION HP-20 y DSC 18 se muestran en la gráfica 2. DIAION HP-20 y DSC 18 alcanzaron el equilibrio aproximadamente a las 12 h. En el equilibrio las 2 tuvieron la misma capacidad de adsorción.



**Gráfica 2:** Cinética de adsorción de fenoles totales

**Fuente:** La experimentación

**Elaboración:** El autor

La capacidad de adsorción de fenoles totales en las resinas DIAION HP-20 y DSC-18 tuvieron un aumento gradual (Gráfica 2.) aproximadamente a los 720 minutos ambas resinas estuvieron en equilibrio y la capacidad de adsorción en las 2 resinas estudiadas fue de 2711.19 (mg/g) (Gráfica 2.).

La velocidad constante se la determino usando los pseudo modelos de primer y segundo orden (Tabla 6.), varios estudios han demostrado que estos modelos son los más usados en expresiones de velocidad (Rudzinski & Plazinski, 2007).

**Tabla 6:** Parámetros de pseudo modelos de primer y segundo orden con velocidades constantes de resinas calculados sobre la base del total de compuestos fenólicos

Pseudo modelo primer orden	Resinas	$K_f$	$q_e$	$R^2$
Fenoles Totales	DIAION HP-20	0.0014	3.536	0.981
	DSC-18	0.0014	3.536	0.981
Pseudo modelo segundo orden		$K_s$		
Fenoles Totales	DIAION HP-20	$1 \cdot 10^{-6}$	3.457	0.997
	DSC-18	$1 \cdot 10^{-6}$	3.457	0.997

$K_f$ : constante de velocidad de adsorción del pseudo modelo de primer orden.  $K_s$ : constante de velocidad de adsorción del pseudo modelo de segundo orden.

**Fuente:** La experimentación

**Elaboración:** El autor



Para la regresión de los datos cinéticos se utilizó el pseudo modelo de primer orden en línea recta entre  $\log(q_e - q_t)$  y tiempo. Los coeficientes de correlación en ambas resinas fueron de 0.981 (Tabla 6.). El pseudo modelo de primer orden describe las etapas iniciales del proceso de adsorción, en cambio el pseudo modelo de segundo orden es más útil para predecir y describir todo el proceso de adsorción (Soto et al., 2011). Los datos cinéticos usando los pseudos modelos de primer y segundo orden se indican en la Tabla 6, al igual que varios estudios realizados como el de Buran et al. (2014) y Abdullah et al. (2009) el pseudo modelo de segundo orden es mejor que el de primer orden en la descripción de la cinética de adsorción de fenoles totales a partir de extractos acuosos en resinas.

### 4.3 Isotermas de adsorción y termodinámica

El contenido de fenoles totales se realizó mediante las ecuaciones de Langmuir y Freundlich, las constantes de las ecuaciones y los coeficientes de correlación de las 2 resinas utilizadas se indican en la Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente.

**Tabla 7:** Constantes de la ecuación de Langmuir y Freundlich de fenoles totales sobre la resina DIAION HP-20

Temperatura (C°)	Ecuación Langmuir	R <sup>2</sup>	Ecuación Freundlich	R <sup>2</sup>
25	$q_e = \frac{0.002C_e}{0.523 + C_e}$	0.994	$q_e = 0.818C_e^{0.654}$	0.487
35	$q_e = \frac{0.007C_e}{-0.098 + C_e}$	0.943	$q_e = 2.375C_e^{-0.091}$	0.196
45	$q_e = \frac{0.013C_e}{-0.939 + C_e}$	0.997	$q_e = 4.232C_e^{-0.945}$	0.988

Fuente: La experimentación

Elaboración: El autor

**Tabla 8:** Constantes de la ecuación de Langmuir y Freundlich de fenoles totales sobre la resina DSC-18

Temperatura (C°)	Ecuación Langmuir	R <sup>2</sup>	Ecuación Freundlich	R <sup>2</sup>
25	$q_e = \frac{0.002C_e}{0.090 + C_e}$	0.999	$q_e = 0.711C_e^{0.693}$	0.988
35	$q_e = \frac{0.022C_e}{0.064 + C_e}$	0.611	$q_e = 1.097C_e^{0.496}$	0.184
45	$q_e = \frac{0.019C_e}{0.204 + C_e}$	0.775	$q_e = 0.726C_e^{0.671}$	0.166

Fuente: La experimentación

Elaboración: El Autor

La constante de afinidad ( $K_L$ ) en la ecuación de Langmuir se la cálculo a partir de la pendiente y la intersección de la gráfica lineal de  $C_e/q_e$  frente a  $C_e$ . Sin embargo la constante de afinidad ( $K_F$ ) en el modelo Freundlich se la calculo a partir de la pendiente y la intersección de la gráfica lineal de  $\log q_e$  frente a  $\log C_e$  (Kumar & Sivanesan, 2007).

Las isotermas de Langmuir y Freundlich son los modelos más utilizados para los datos de adsorción en equilibrio (Silva et al., 2007; Soto et al., 2011). El modelo de Freundlich asume que la superficie de la resina es de naturaleza heterogénea y se caracteriza por sitios de sorción a diferentes energías (Dąbrowski et al., 2005). El modelo de Langmuir describe una adsorción de monocapa con sitios de sorción energéticamente idénticos y la interacción entre las moléculas absorbidas (Duran et al., 2011).

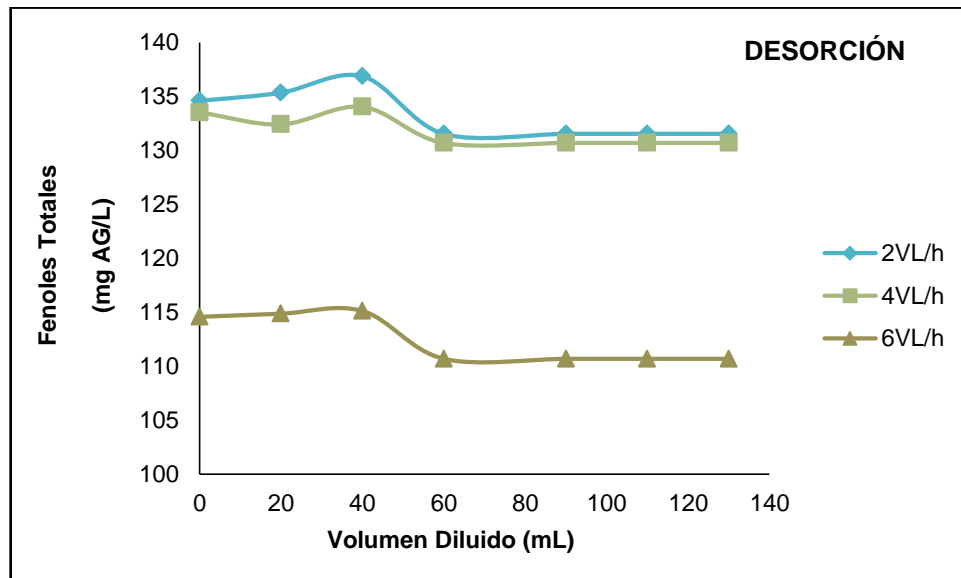
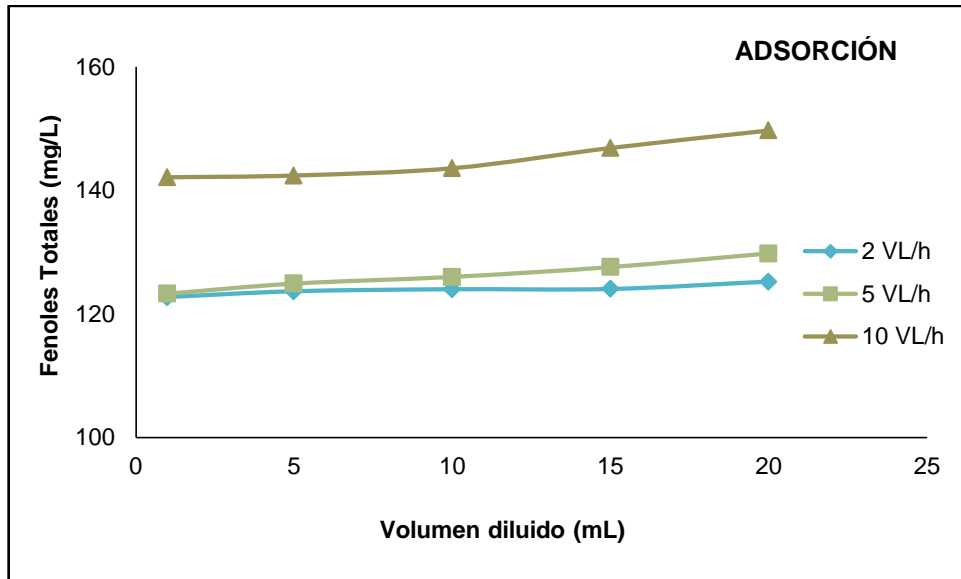
Los coeficientes de correlación se muestran en las tablas 7 y 8 de cada resina estudiada respectivamente, además se indica que el modelo de Langmuir era mejor para el ajuste de los datos en la resina DIAION HP-20.

De acuerdo a los resultados basados en fenoles totales mostraron que la capacidad máxima de adsorción ( $q_m$ ) permanece constante en las 2 resinas, lo que implica que la temperatura no afecto significativamente en la capacidad de adsorción esto lo respalda los estudios realizados por Kammerer et al. (2005) menciona que la temperatura no afecta significativamente a la adsorción. Sin embargo los valores de la constante de afinidad ( $K_L$ ) en la resina DIAION-HP 20 disminuyen al aumentar la temperatura, lo que se comprueba que la adsorción de fenoles totales se reduce al aumentar la temperatura (Qiu et al., 2007), la degradación de fenoles totales sensibles al calor a temperaturas altas pueden explicar estos resultados.

La resina DIAION-HP 20 tuvo la mejor eficacia de adsorción a la temperatura más baja (25°C) y presentó mejores coeficientes de correlación en el ajuste de las ecuaciones, por lo tanto fue elegida para los ensayos dinámicos.

#### **4.4 Adsorción/desorción dinámica**

El comportamiento de la adsorción y desorción dinámica de fenoles totales se indican en la gráfica 3.



**Gráfica 3:** Adsorción/Desorción dinámica de fenoles totales en la resina DIAION HP-20

**Fuente:** La experimentación

**Elaboración:** El autor

La relación de adsorción de fenoles totales fueron de 18.5%, 17.2% y 3.8% respectivamente utilizando un caudal de 2, 5 y 10 VL/h, esta relación disminuye a medida que se aumenta concentración de la alimentación (Liu et al., 2010). Los resultados demostraron que la velocidad de 10 VL/h es un caudal adecuado, ya que permitió la máxima adsorción de fenoles totales en el menor lapso de tiempo.

Se utilizó etanol al 99% para disolver los fenoles de la columna utilizando un caudal de 2, 4 y 6 VL/h, la relación de desorción aumentó en los diferentes caudales utilizados,

independientemente de la velocidad del flujo se logró una desorción completa de fenoles totales con menos de 4 VL/h.

#### 4.5 Composición química y azúcares en los extractos

El contenido de azúcares (glucosa), fenoles totales (ácido gálico) y trólox en subproductos de mango y en el extracto concentrado de mango se muestran en la tabla 9.

**Tabla 9:** Contenido de azúcares, fenoles totales y trólox en subproductos de mango y en el extracto purificado de mango

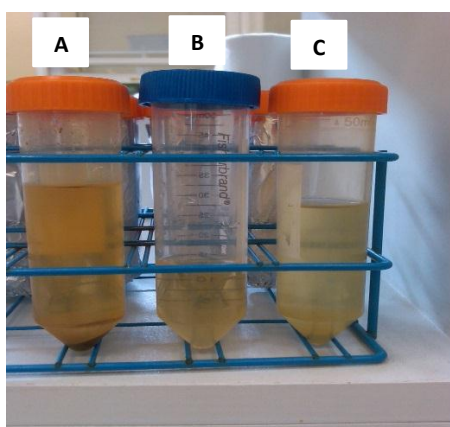
Compuestos	Subproducto de mango (mg/g extracto)	Extracto purificado de mango (mg/g extracto)
Glucosa	1658.09 ± 8.34	165.29 ± 1.53
Acido gálico	5.17 ± 0.06	6.62 ± 0.05
Trólox	764.20 ± 0.03	1321.91 ± 0.03

Cada valor es la media ± desviación estándar

**Fuente:** La experimentación

**Elaboración:** El autor

El contenido de fenoles totales en el extracto purificado de mango fue de 0,66 % (mg/g extracto) en comparación con 0,51% (mg/g extracto) en el subproducto de mango, la baja recuperación de fenoles totales es debido a la naturaleza inespecífica del ensayo de Folin-Ciocalteu, ya que el ácido ascórbico se cuenta como fenólico cuando se utiliza el ensayo de Folin-Ciocalteu y este ácido no se adsorbe en las resinas (Buran et al., 2014) . La concentración de trólox se incrementó en un 50% en el extracto purificado. El rendimiento de extracto de mango purificado fue 4 g por cada 100 g de subproducto de mango.



**Gráfica 4:** Extractos de subproductos de mango en la resina DIAION HP-20  
**A.** Extracto inicial antes el proceso. **B.** Extracto después de la adsorción. **C.** Extracto después de la desorción.  
**Fuente:** La experimentación

El contenido de glucosa se redujo 10 veces en el extracto purificado de mango, como se indica en el gráfico 4. El extracto purificado (B) presentó mejor turbidez que el extracto inicial, esto implicó que las partículas (azúcares) que no eran de interés de estudio quedaron retenidas en las resinas, varios estudios han demostrado que esta tecnología es muy útil para concentrar compuestos fenólicos a partir de soluciones acuosas (Busca et al., 2008; Hameed & Rahman, 2008; Vazquez et al., 2007).

## CONCLUSIONES

- La resina DIAION HP-20 es la más adecuada para la recuperación de compuestos fenólicos en extractos acuosos de subproductos de mango, esto es debido a su alta capacidad de adsorción y desorción hacia estos compuestos.
- La dilución 1:1 presentó mayor capacidad de adsorción, desorción y porcentaje de recuperación de fenoles totales con  $150.71 \pm 2$  mg de Ácido gálico/g de resina,  $3.86 \pm 2$  mg de Ácido gálico/g de resina y 100 % respectivamente.
- La mayor eficiencia para la adsorción de compuestos fenólicos se obtuvo a una temperatura de 25°C.
- Con el uso de las resinas se obtuvo un extracto concentrado de subproductos de mango que contiene un 0,04 %(w/w) de compuestos fenólicos y con un bajo porcentaje de azúcares detectables en el extracto.

## RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos de los extractos antes y después del uso de las resinas, mediante un análisis de HPLC para verificar la concentración de otros compuestos que se extraen en la obtención de extractos.
- Utilizar resinas de diferentes características físicas: tamaño de poro, superficie de área y de diferentes composición química: afinidad hacia la adsorción de compuestos fenólicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abburi, Krishnaiah. (2003). Adsorption of phenol and p-chlorophenol from their single and bisolute aqueous solutions on Amberlite XAD-16 resin. *Journal of hazardous materials*, 105(1), 143-156.
- Abdullah, MA, Chiang, L, & Nadeem, M. (2009). Comparative evaluation of adsorption kinetics and isotherms of a natural product removal by Amberlite polymeric adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, 146(3), 370-376.
- Ahmaruzzaman, Md. (2008). Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: a review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 143(1), 48-67.
- Ajila, CM, Naidu, KA, Bhat, SG, & Rao, UJS Prasada. (2007). Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract. *Food chemistry*, 105(3), 982-988.
- Arnao, Marino B., Cano, Antonio, & Acosta, Manuel. (2001). The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry*, 73(2), 239-244.
- Ashoush, IS, & Gadallah, MGE. (2011). Utilization of mango peels and seed kernels powders as sources of phytochemicals in biscuit. *World Journal of Dairy & Food Sciences*, 6(1), 35-42.
- Ayala-Zavala, JF, Vega-Vega, V, Rosas-Domínguez, C, Palafox-Carlos, H, Villa-Rodríguez, JA, Siddiqui, Md Wasim, . . . González-Aguilar, GA. (2011). Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International*, 44(7), 1866-1874.
- Ayala-Zavala, JF, Rosas-Domínguez, C, Vega-Vega, V, & González-Aguilar, GA. (2010). Antioxidant Enrichment and Antimicrobial Protection of Fresh-Cut Fruits Using Their Own Byproducts: Looking for Integral Exploitation. *Journal of food science*, 75(8), R175-R181.
- Barreto, Jacqueline C, Trevisan, Maria TS, Hull, William E, Erben, Gerhard, de Brito, Edy S, Pfundstein, Beate, . . . Owen, Robert W. (2008). Characterization and quantitation of polyphenolic compounds in bark, kernel, leaves, and peel of mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14), 5599-5610.
- Benites Vílchez, Julio, López Vivar, José, Kusch Fuschlocher, Francisca, Gajardo Solari, Sandra, Jorquera Arancibia, Graciela, Salazar Rodríguez, Gabriela, & Rojas Arredondo, Mauricio. (2010). Actividad antioxidante, antibacteriana y analgésica de extractos de *Mangifera indica* L. *BIOFARBO*, 18, 10-19.
- 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.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Bretag, Judith, Kammerer, Dietmar R, Jensen, Uwe, & Carle, Reinhold. (2009). Evaluation of the adsorption behavior of flavonoids and phenolic acids onto a food-grade resin using a D-optimal design. *European Food Research and Technology*, 228(6), 985-999.
- Buran, Timothy J., Sandhu, Amandeep K., Li, Zheng, Rock, Cheryl R., Yang, Weihua W., & Gu, Liwei. (2014). Adsorption/desorption characteristics and separation of anthocyanins and polyphenols from blueberries using macroporous adsorbent resins. *Journal of Food Engineering*, 128(0), 167-173.
- Busca, Guido, Berardinelli, Silvia, Resini, Carlo, & Arrighi, Laura. (2008). Technologies for the removal of phenol from fluid streams: a short review of recent developments. *Journal of Hazardous Materials*, 160(2), 265-288.
- Carrera, Alcibiades, 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.
- Dąbrowski, A, Podkościelny, P, Hubicki, Z, & Barczak, M. (2005). Adsorption of phenolic compounds by activated carbon—a critical review. *Chemosphere*, 58(8), 1049-1070.
- Dubois, Michel, Gilles, K Ao, Hamilton, J Ko, Rebers, PAT, & Smith, Fred. (2002). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- Duran, Celal, Ozdes, Duygu, Gundogdu, Ali, & Senturk, Hasan Basri. (2011). Kinetics and isotherm analysis of basic dyes adsorption onto almond shell (*Prunus dulcis*) as a low cost adsorbent. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 56(5), 2136-2147.
- Engels, Christina, KNODLER, MATTHIAS, Zhao, Yuan-Yuan, Carle, Reinhold, Gänzle, Michael G, & Schieber, Andreas. (2009). Antimicrobial activity of gallotannins isolated from mango (*Mangifera indica* L.) kernels. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(17), 7712-7718.

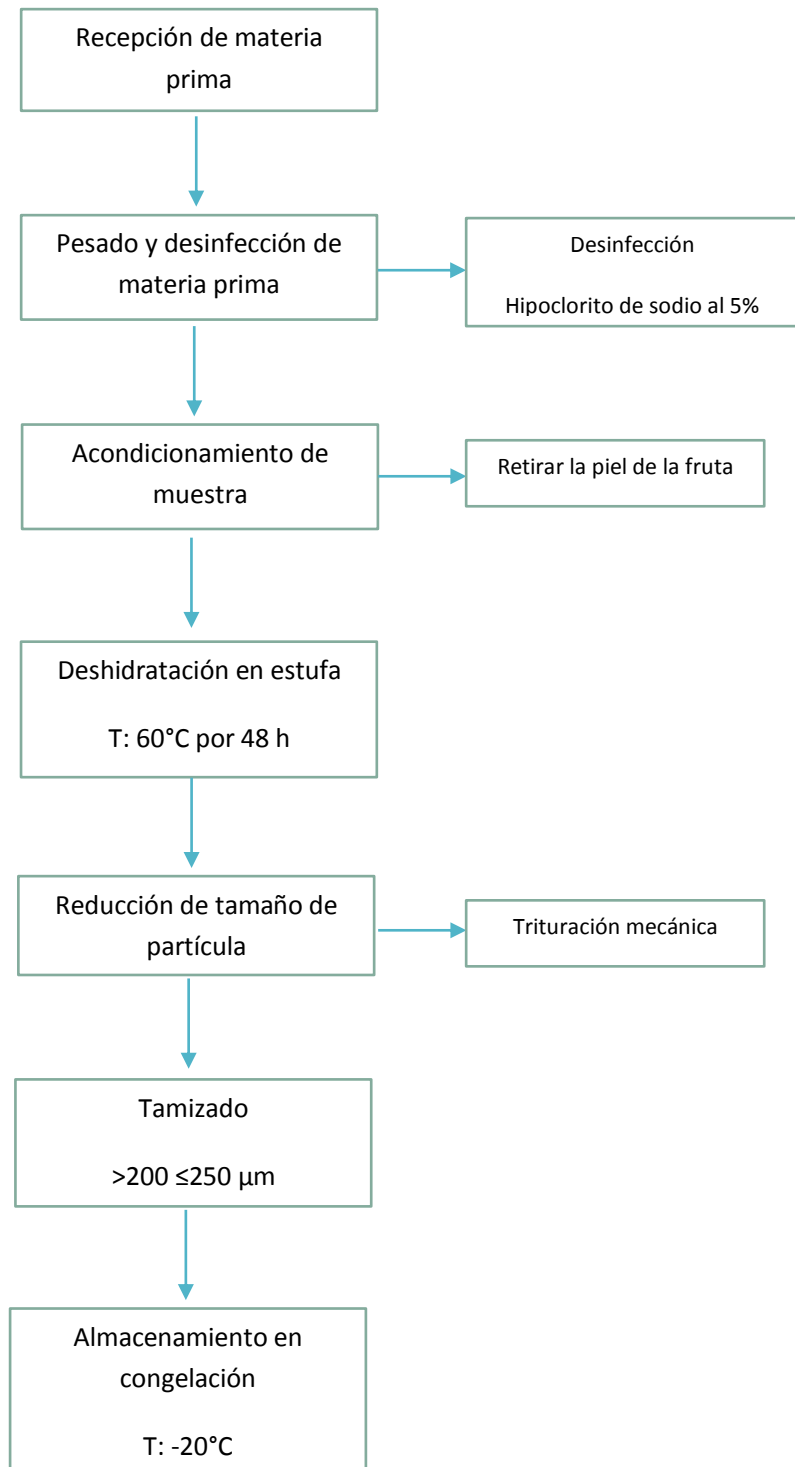


- Foo, KY, & Hameed, BH. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), 2-10.
- Geng, Xiaotian, Ren, Ping, Pi, Guopei, Shi, Rongfu, Yuan, Zhi, & Wang, Chunhong. (2009). High selective purification of flavonoids from natural plants based on polymeric adsorbent with hydrogen-bonding interaction. *Journal of Chromatography A*, 1216(47), 8331-8338.
- González-Paramás, Ana M, Esteban-Ruano, Sara, Santos-Buelga, Celestino, de Pascual-Teresa, Sonia, & Rivas-Gonzalo, Julián C. (2004). Flavanol content and antioxidant activity in winery byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(2), 234-238.
- Hameed, BH, & Rahman, AA. (2008). Removal of phenol from aqueous solutions by adsorption onto activated carbon prepared from biomass material. *Journal of Hazardous Materials*, 160(2), 576-581.
- Ignat, Ioana, Volf, Irina, & Popa, Valentin I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 126(4), 1821-1835.
- Juang, Ruey-Shin, & Shiau, Jia-Yun. (1999). Adsorption isotherms of phenols from water onto macroporous resins. *Journal of hazardous materials*, 70(3), 171-183.
- Kammerer, Dietmar, Kljusuric, Jasenka Gajdos, Carle, Reinhold, & Schieber, Andreas. (2005). Recovery of anthocyanins from grape pomace extracts (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Mitos) using a polymeric adsorbent resin. *European Food Research and Technology*, 220(3-4), 431-437.
- Kong, Kin-Weng, Ismail, Abdul Razak, Tan, Seok-Tyug, Prasad, Nagendra, Murthy, Krishna, & Ismail, Amin. (2010). Response surface optimisation for the extraction of phenolics and flavonoids from a pink guava puree industrial by-product. *International journal of food science & technology*, 45(8), 1739-1745.
- Ku, Young, & Lee, Kuen-Chyr. (2000). Removal of phenols from aqueous solution by XAD-4 resin. *Journal of Hazardous Materials*, 80(1), 59-68.
- Kumar, K Vasanth, & Sivanesan, S. (2007). Sorption isotherm for safranin onto rice husk: Comparison of linear and non-linear methods. *Dyes and Pigments*, 72(1), 130-133.
- 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.
- Li, Aimin, Zhang, Quanxing, Chen, Jinlong, Fei, Zhenghao, Long, Chao, & Li, Wanxing. (2001). Adsorption of phenolic compounds on Amberlite XAD-4 and its acetylated derivative MX-4. *Reactive and Functional Polymers*, 49(3), 225-233.
- Liu, Yongfeng, Liu, Junxi, Chen, Xiaofen, Liu, Yewei, & Di, Duolong. (2010). Preparative separation and purification of lycopene from tomato skins extracts by macroporous adsorption resins. *Food Chemistry*, 123(4), 1027-1034.
- Lv, Lishuang, Tang, Jian, & Ho, Chi-Tang. (2008). Selection and optimisation of macroporous resin for separation of stilbene glycoside from *Polygonum multiflorum* Thunb. *Journal of chemical technology and biotechnology*, 83(10), 1422-1427.
- Ma, Chaoyang, Tao, Guangjun, Lou, Zaixiang, Wang, Hongxin, Gu, Xiaohong, Hu, Liming, & Yin, Menglong. (2009). Preparative separation and purification of rosavin in *Rhodiola rosea* by macroporous adsorption resins. *Separation and Purification Technology*, 69(1), 22-28.
- Makris, Dimitris P, Boskou, George, & Andrikopoulos, Nikolaos K. (2007). Polyphenolic content and in vitro antioxidant characteristics of wine industry and other agri-food solid waste extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(2), 125-132.
- 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.
- Masibo, Martin, & He, Qian. (2008). Major mango polyphenols and their potential significance to human health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(4), 309-319.
- Musa, Khalid Hamid, Abdullah, Aminah, Jusoh, Khairiah, & Subramaniam, Vimala. (2011). Antioxidant activity of pink-flesh guava (*Psidium guajava* L.): effect of extraction techniques and solvents. *Food Analytical Methods*, 4(1), 100-107.
- Nigam, Poonam Singh-Nee, & Pandey, Ashok. (2009). *Biotechnology for agro-industrial residues utilisation: utilisation of agro-residues*: Springer Science & Business Media.
- Pan, Bingjun, Pan, Bingcai, Zhang, Weiming, Zhang, Qingrui, Zhang, Quanxing, & Zheng, Shourong. (2008). Adsorptive removal of phenol from aqueous phase by using a porous acrylic ester polymer. *Journal of hazardous materials*, 157(2), 293-299.
- Qiu, Nongxue, Guo, Shanguang, & Chang, Yuhua. (2007). Study upon kinetic process of apple juice adsorption de-coloration by using adsorbent resin. *Journal of food engineering*, 81(1), 243-249.

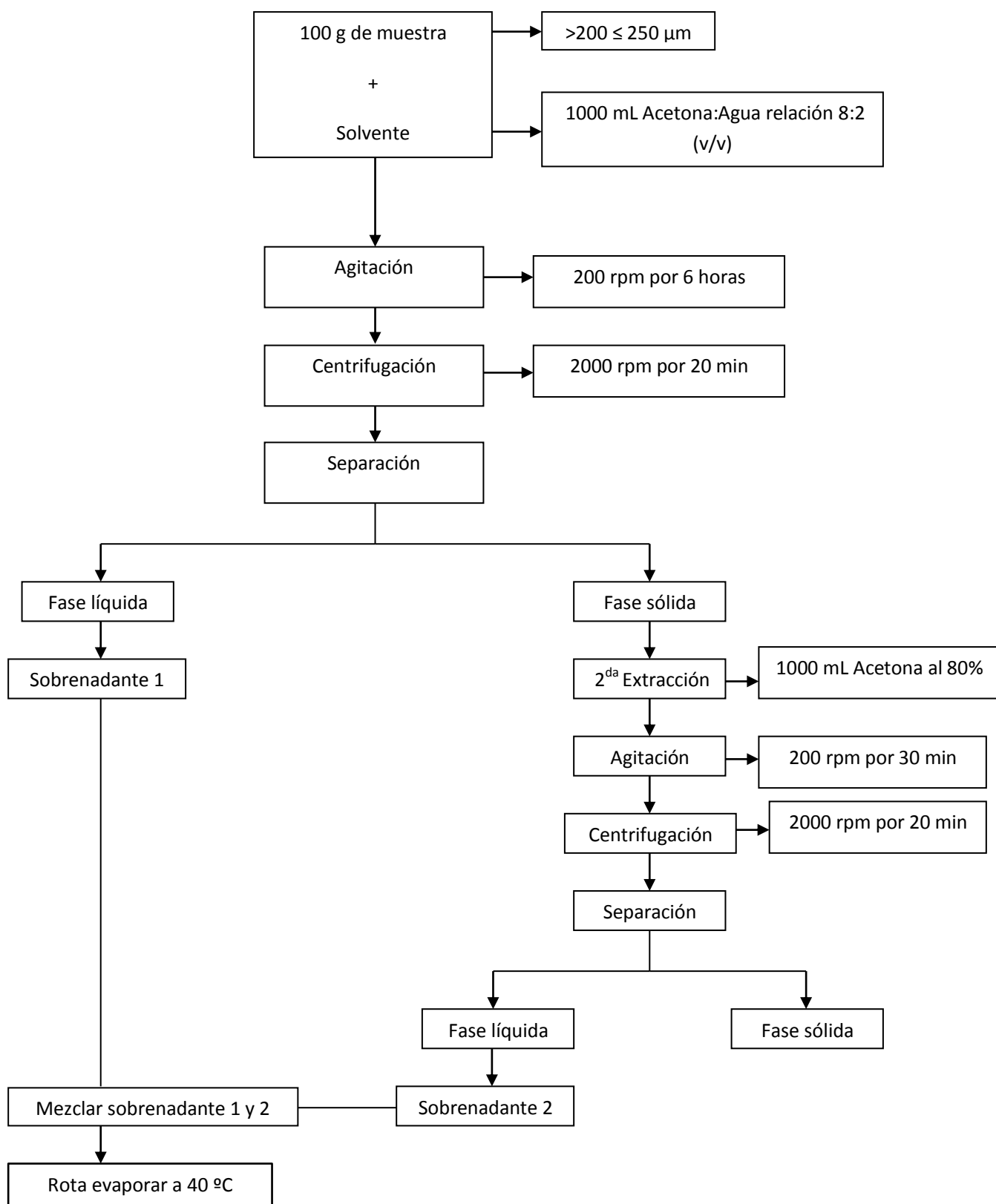
- Rambla, FJ, Garrigues, S, & De La Guardia, M. (1997). PLS-NIR determination of total sugar, glucose, fructose and sucrose in aqueous solutions of fruit juices. *Analytica Chimica Acta*, 344(1), 41-53.
- Repo, Ritva, & Encina, Christian René. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 108-124.
- Rudzinski, Wladyslaw, & Plazinski, Wojciech. (2007). Theoretical description of the kinetics of solute adsorption at heterogeneous solid/solution interfaces: On the possibility of distinguishing between the diffusional and the surface reaction kinetics models. *Applied surface science*, 253(13), 5827-5840.
- Scordino, Monica, Di Mauro, Alfio, Passerini, Amedeo, & Maccarone, Emanuele. (2003). Adsorption of flavonoids on resins: hesperidin. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(24), 6998-7004.
- Scordino, Monica, Di Mauro, Alfio, Passerini, Amedeo, & Maccarone, Emanuele. (2004). Adsorption of flavonoids on resins: cyanidin 3-glucoside. *Journal of agricultural and food chemistry*, 52(7), 1965-1972.
- 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.
- Silva, E. M., Pompeu, D. R., Larondelle, Y., & Rogez, H. (2007). Optimisation of the adsorption of polyphenols from *Inga edulis* leaves on macroporous resins using an experimental design methodology. *Separation and Purification Technology*, 53(3), 274-280.
- Soto, María Luisa, Moure, Andrés, Domínguez, Herminia, & Parajó, Juan Carlos. (2011). Recovery, concentration and purification of phenolic compounds by adsorption: A review. *Journal of Food Engineering*, 105(1), 1-27.
- Spigno, Giorgia, Tramelli, Lorenza, & De Faveri, Dante Marco. (2007). Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 200-208.
- Thaipong, Kriengsak, Boonprakob, Unaroj, Crosby, Kevin, Cisneros-Zevallos, Luis, & Hawkins Byrne, David. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6-7), 669-675.
- Treybal, R.E. (1988). *Operaciones de transferencia de masa*. México: McGraw-Hill.
- Vazquez, I, Rodriguez-Iglesias, J, Maranon, E, Castrillón, L, & Alvarez, M. (2007). Removal of residual phenols from coke wastewater by adsorption. *Journal of hazardous materials*, 147(1), 395-400.
- Weisz, Geor, Carle, Reinhold, & Kammerer, Dietmar. (2013). Sustainable sunflower processing-II. Recovery of phenolic compounds as a by-product of sunflower protein extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17, 169-179.
- Weisz, Georg M., Carle, Reinhold, & Kammerer, Dietmar R. (2013). Sustainable sunflower processing — II. Recovery of phenolic compounds as a by-product of sunflower protein extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17(0), 169-179.
- Xu, Zhaoyi, Zhang, Quanxing, Chen, Jinlong, Wang, Liansheng, & Anderson, GK. (1999). Adsorption of naphthalene derivatives on hypercrosslinked polymeric adsorbents. *Chemosphere*, 38(9), 2003-2011.
- Zeng, Xiaowei, Fan, Yunge, Wu, Guolin, Wang, Chunhong, & Shi, Rongfu. (2009). Enhanced adsorption of phenol from water by a novel polar post-crosslinked polymeric adsorbent. *Journal of hazardous materials*, 169(1), 1022-1028.

## **ANEXOS**

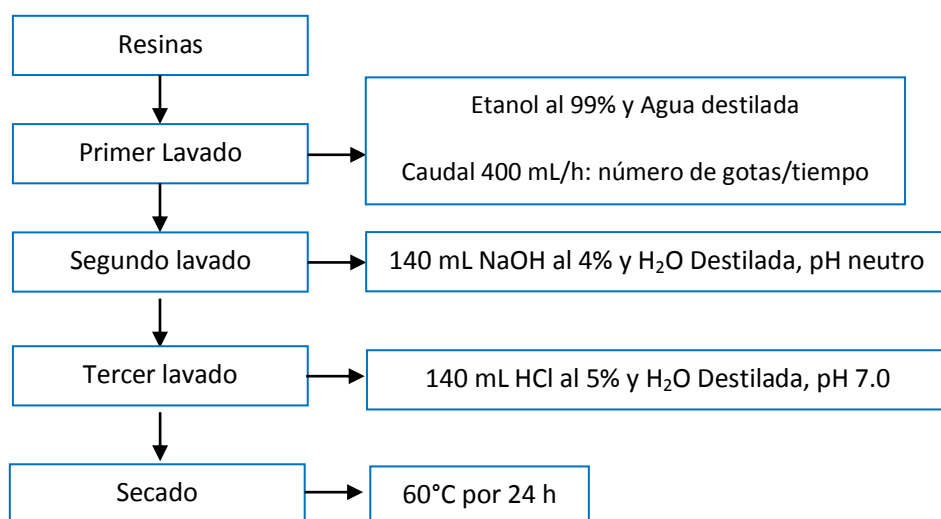
## ANEXO A: Tratamiento de materia prima



## ANEXO B: Extracción de compuestos fenólicos

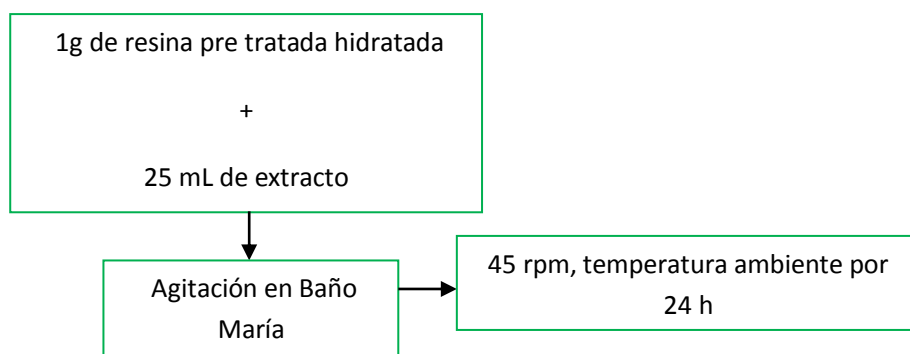


### ANEXO C: Pre acondicionamiento de las resinas

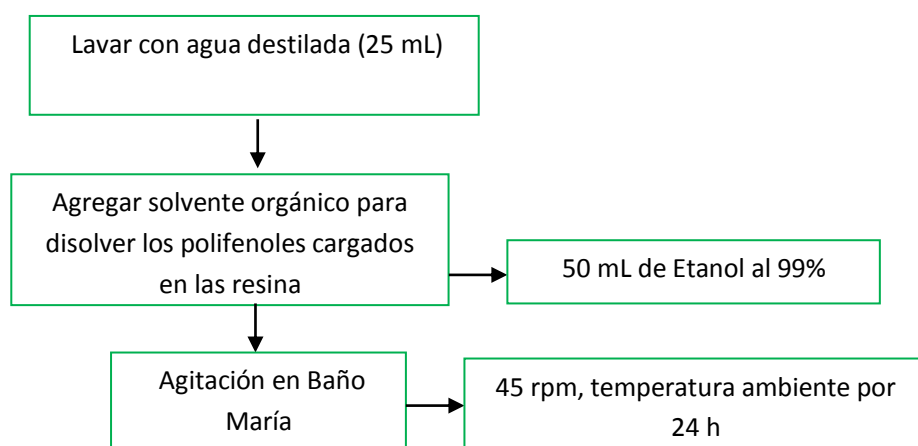


### ANEXO D: Proceso de Adsorción/Desorción estática

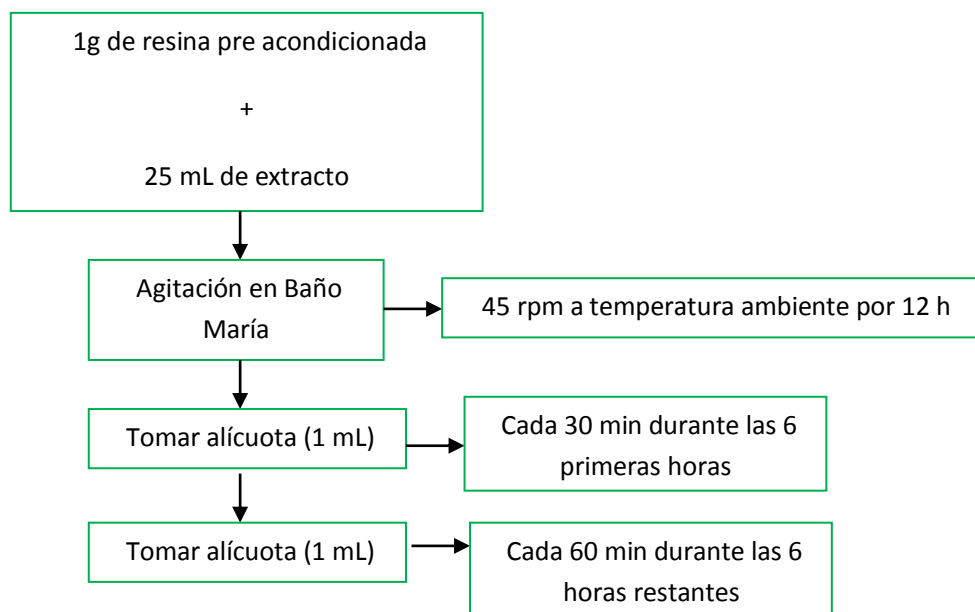
#### Adsorción



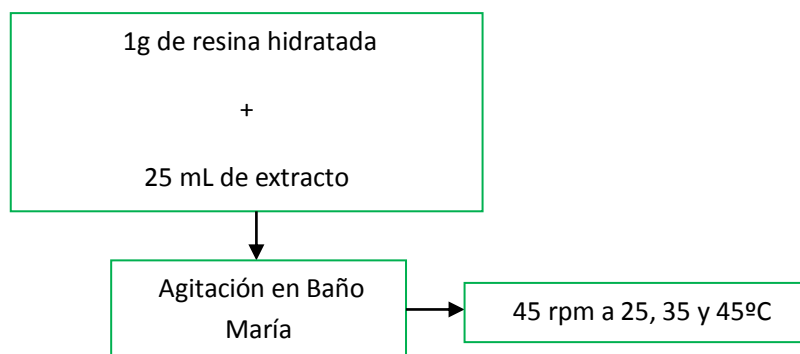
#### Desorción



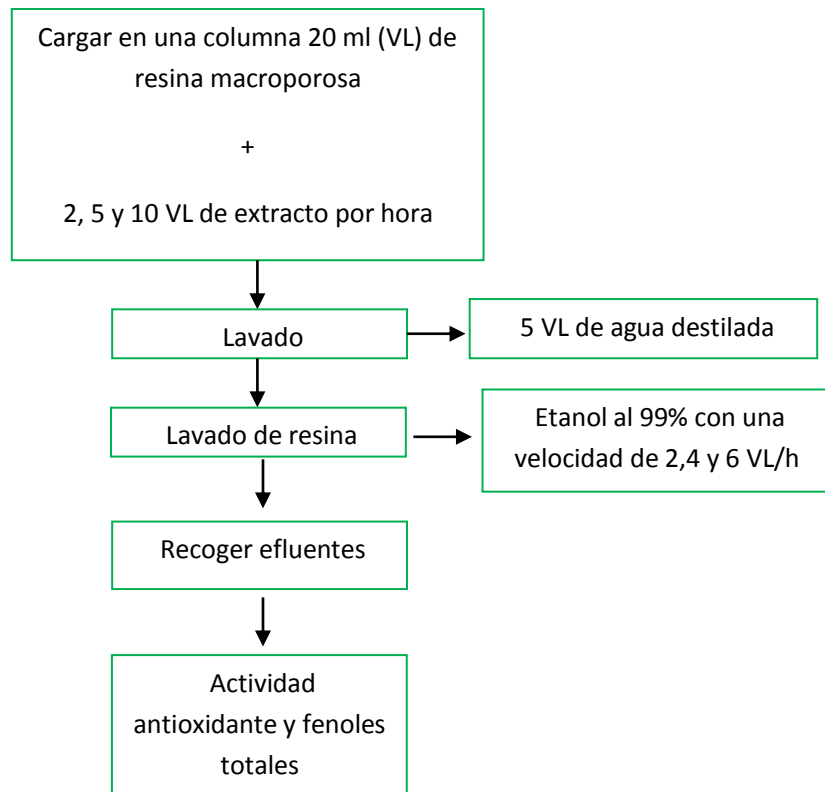
**ANEXO E:** Proceso de cinética de adsorción



**ANEXO F:** Proceso de isotermas de adsorción y termodinámica

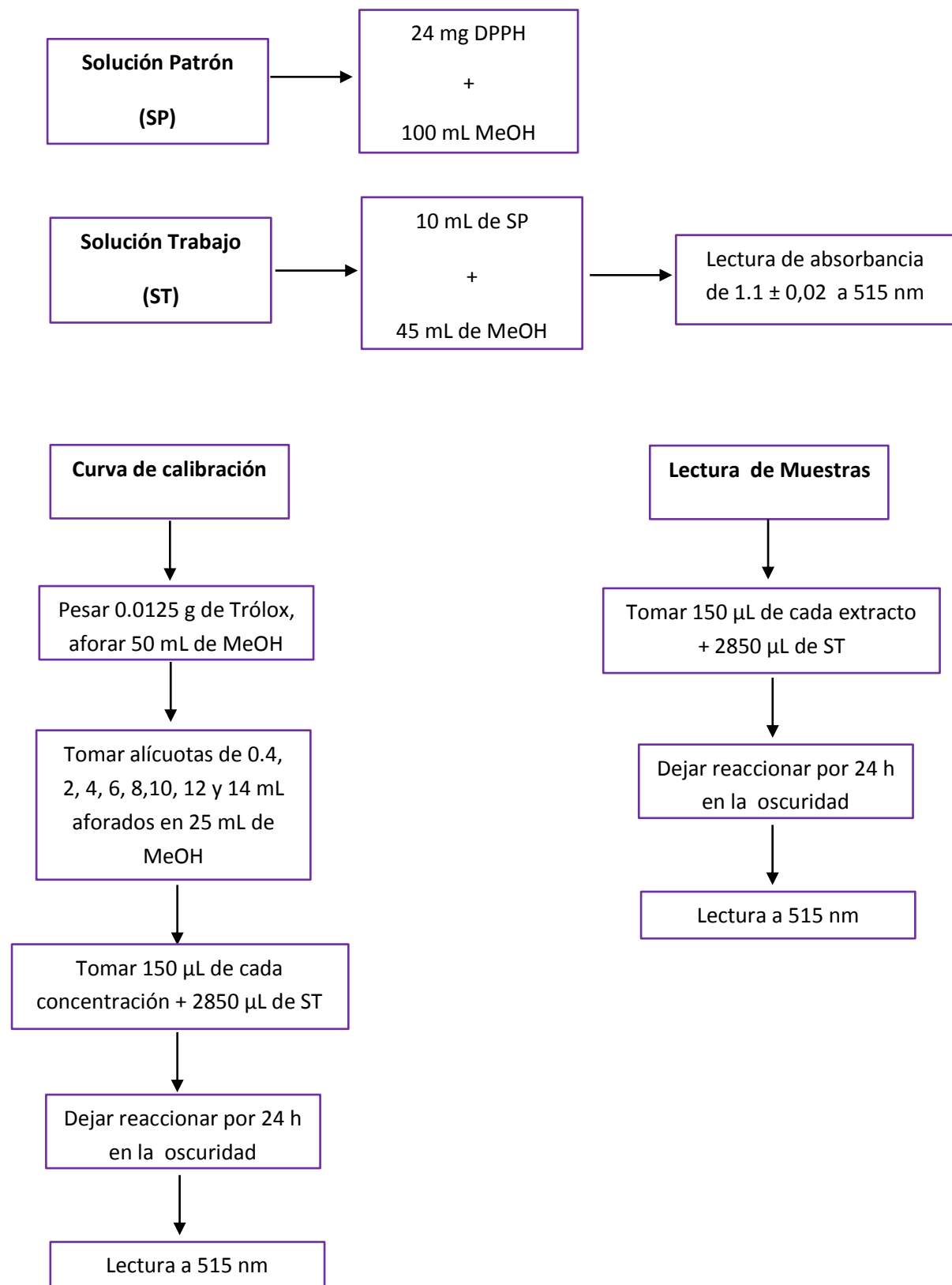


**ANEXO G:** Proceso de adsorción/desorción dinámica

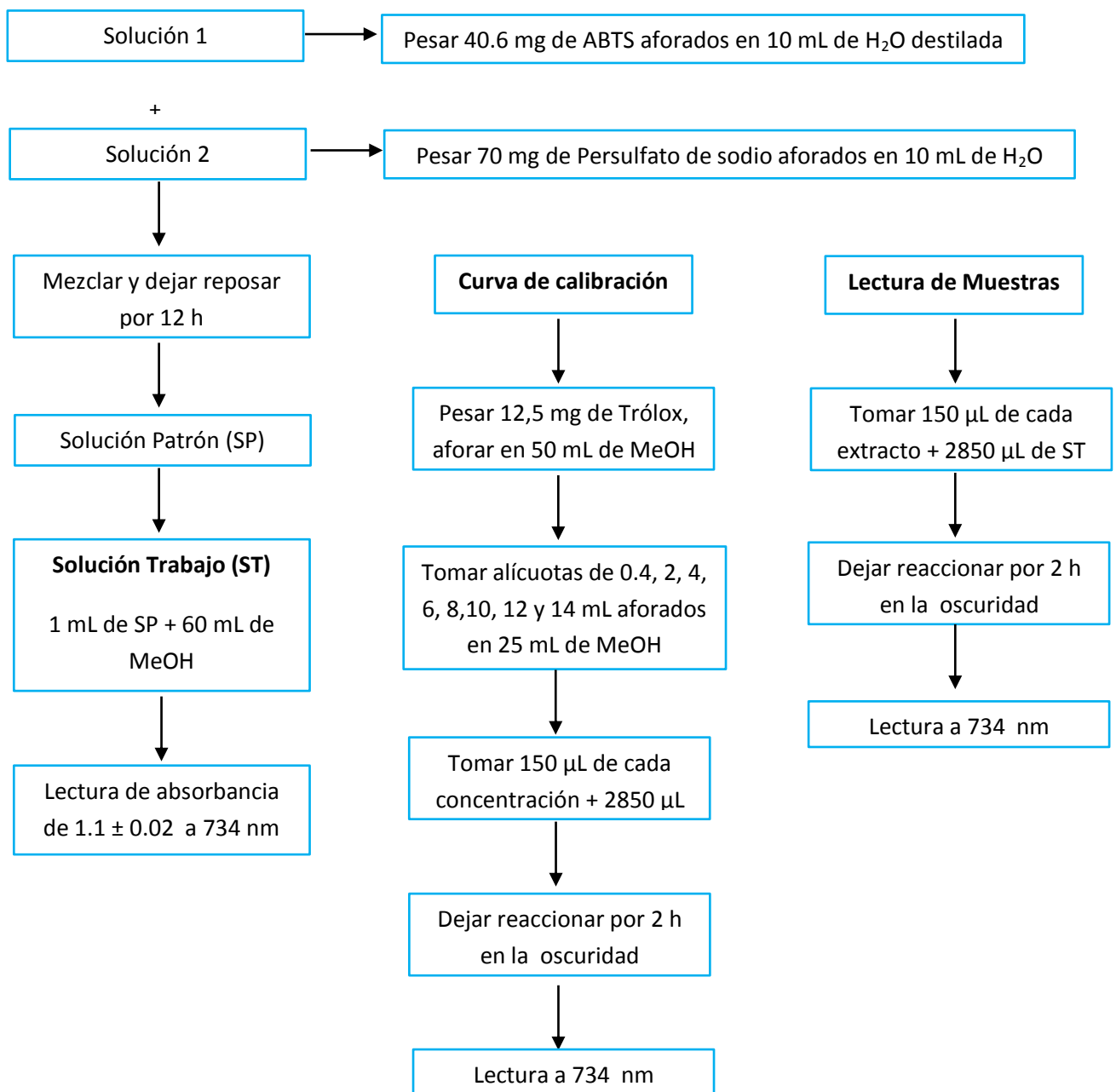




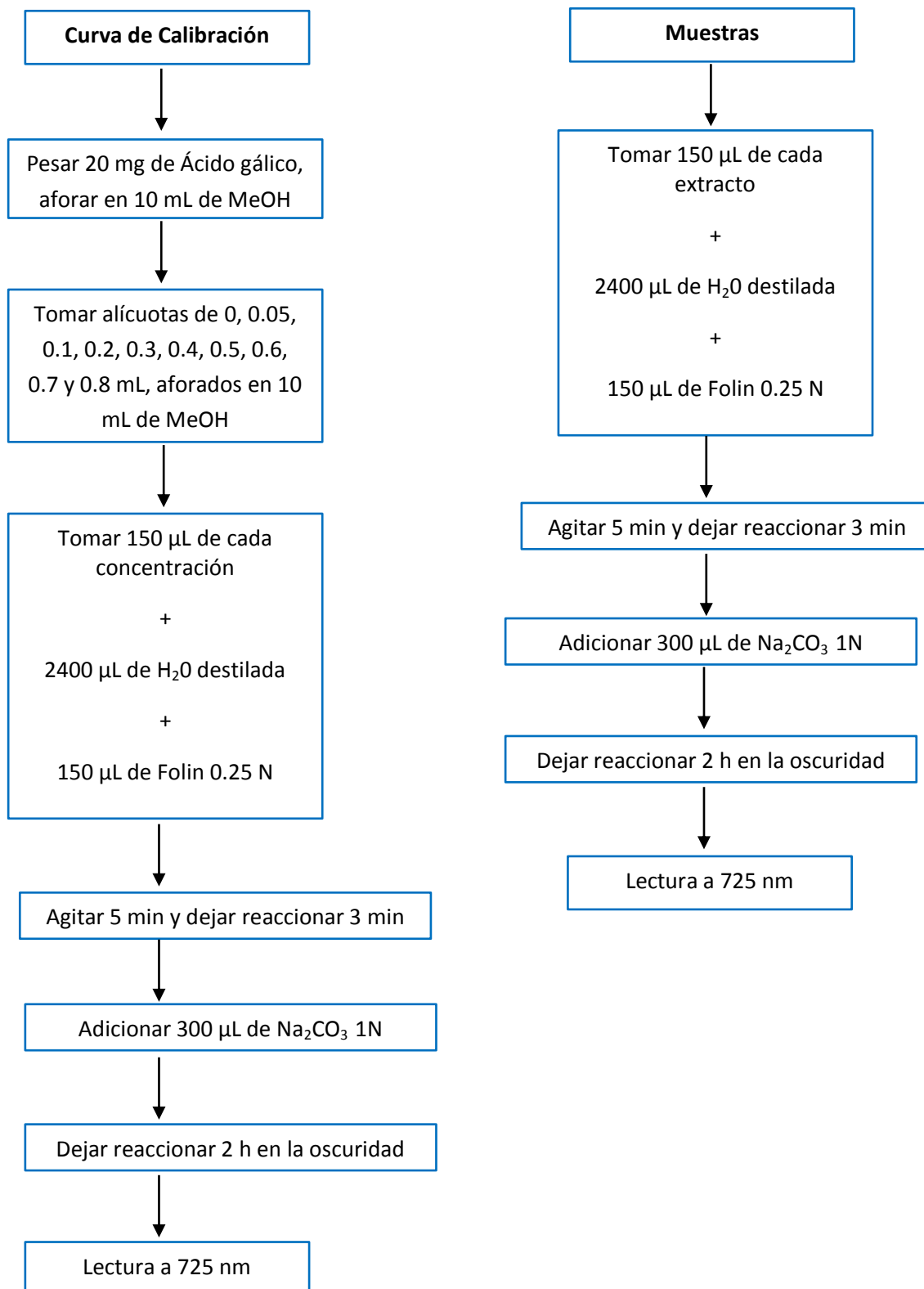
## ANEXO H: Determinación de actividad antioxidante por el método DPPH



## ANEXO I: Determinación de actividad antioxidante por el método ABTS

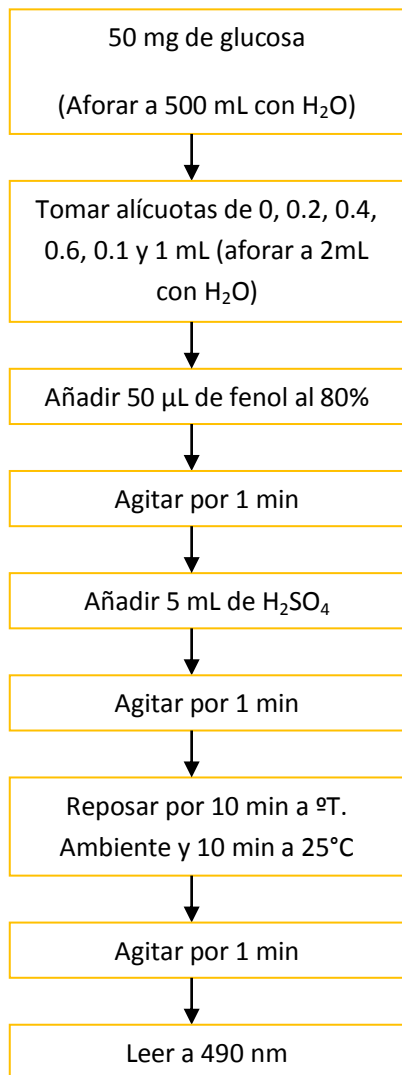


## ANEXO J: Determinación de fenoles totales

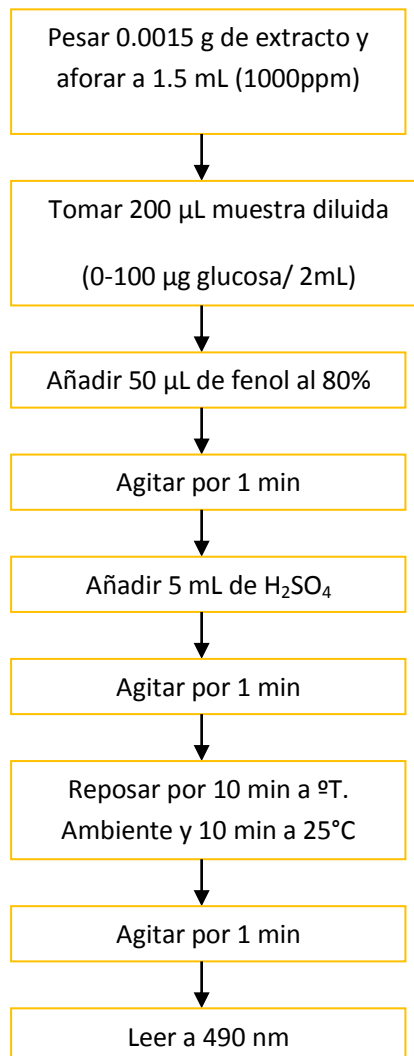


## ANEXO K: Determinación de azúcares

### Curva estándar de glucosa

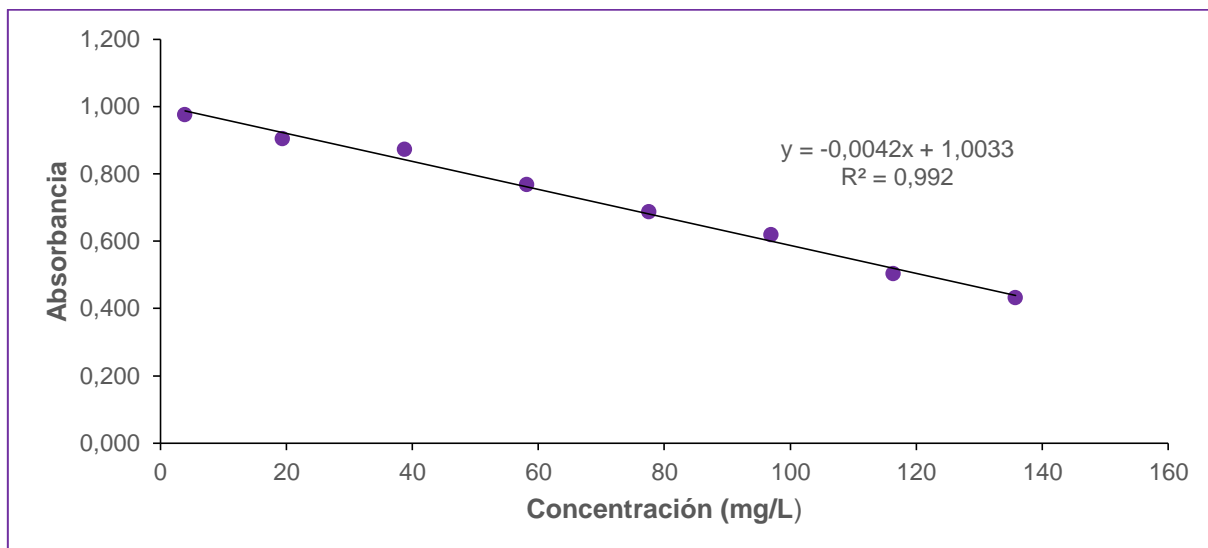


### Lectura de muestras



**ANEXO L:** Curva de calibración y preparación de actividad antioxidante por el método DPPH, ABTS y fenoles totales

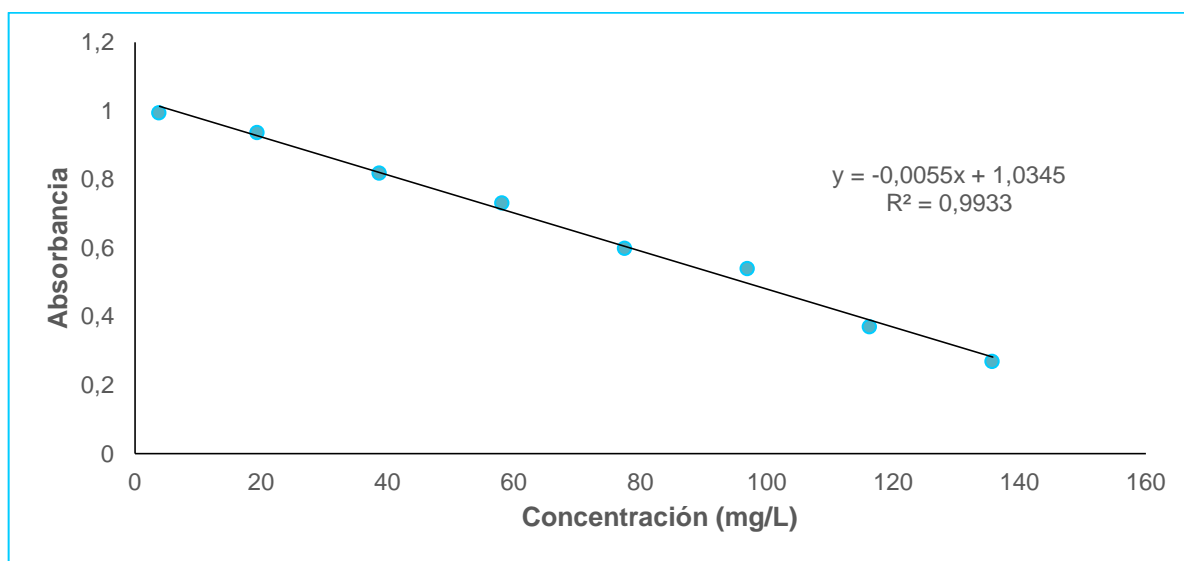
**Curva de calibración y preparación de estándares por el método DPPH**



w (g) Trólox	PM g/mol	Riqueza %	Aforo (mL)	Concentración Madre (mg/L)
0.025	250.29	97	100	242.5

Alícuota (mL)	Aforo (mL)	Concentración Trólox (mg/L)	Absorbancia (nm)
0.4	25	3.88	0.975
2	25	19.4	0.903
4	25	38.8	0.872
6	25	58.2	0.767
8	25	77.6	0.687
10	25	97.0	0.617
12	25	116.4	0.503
14	25	135.8	0.430

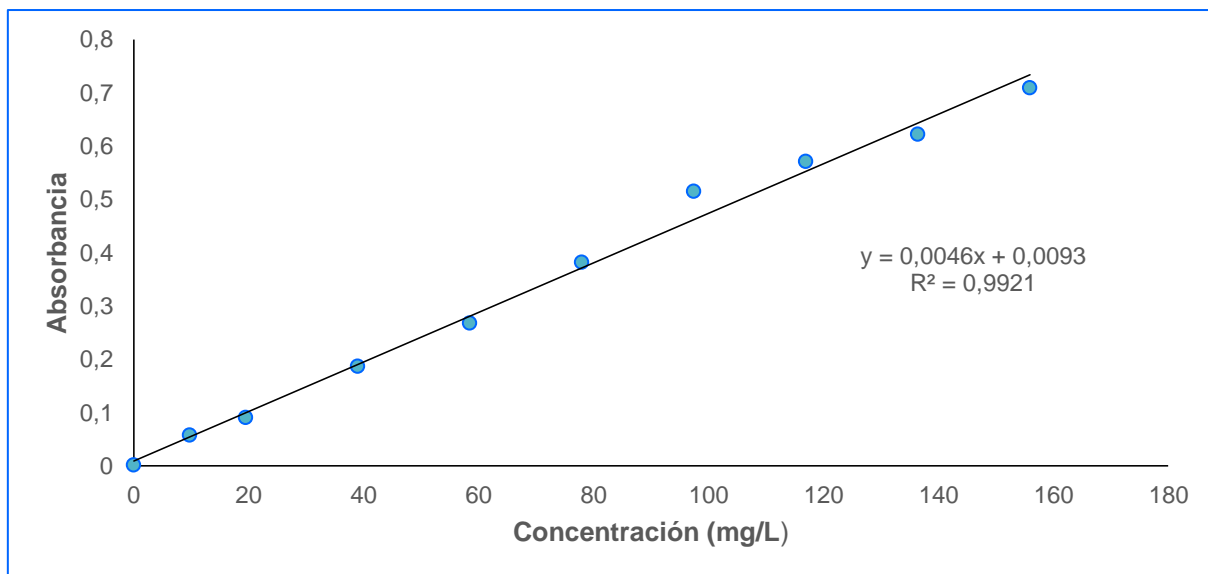
### Curva de calibración y preparación de estándares por el método ABTS



w (g) Trólox	PM g/mol	Riqueza %	Aforo (mL)	Concentración Madre (mg/L)
0.025	250.29	97	100	242.5

Alícuota (mL)	Aforo (mL)	Concentración Trólox (mg/L)	Absorbancia (nm)
0.4	25	3.88	0,993
2	25	19.4	0.934
4	25	38.8	0.816
6	25	58.2	0.729
8	25	77.6	0.597
10	25	97.0	0.538
12	25	116.4	0.368

### Curva de Calibración y preparación de estándares de Fenoles Totales



w (g)	PM	Riqueza	Aforo	Concentración Madre
Ác. Gálico	g/mol	%	(ml)	(mg/L)
0.02	170.12	97.5	10	1950

Alícuota (mL)	Aforo (mL)	Concentración Ac. Gálico (mg/L)	Absorbancia (nm)
0	10	0	0.001
0.05	10	9.75	0.057
0.1	10	19.5	0.09
0.2	10	39.0	0.186
0.3	10	58.5	0.267
0.4	10	78.0	0.381
0.5	10	97.5	0.514
0.6	10	117.0	0.570
0.7	10	136.5	0.621
0.8	10	156.0	0.708

**ANEXO M: Datos y cálculos de adsorción/desorción estática**  
**Adsorción/Desorción estática por el método DPPH**

Dilución	Co inicial (mg/L)	Ce equilibrio (mg/L)		A (%)		qe (mg / g de resina)	
		DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18
1:1	42.571	47.929	31.619	12.6	25.7	41.373	41.781
	41.738	48.167	26.738	15.4	35.9	40.534	41.070
	43.405	47.214	35.548	8.8	18.1	42.225	42.516
1:2	38.048	43.048	21.500	13.1	43.5	36.972	37.511
	39.952	42.929	24.833	7.5	37.8	38.879	39.331
	38.286	42.810	25.548	11.8	33.3	37.216	37.647
1:3	35.667	41.619	19.476	16.7	45.4	34.627	35.180
	35.190	41.976	20.190	19.3	42.6	34.141	34.685
	35.429	40.190	21.143	13.4	40.3	34.424	34.900
1:4	32.690	34.476	11.024	5.5	66.3	31.828	32.414
	32.095	37.690	9.952	17.4	69.0	31.153	31.846
	33.048	36.024	10.429	9.0	68.4	32.147	32.787

Dilución	Cd (mg/L)		D (%)		qd (mg/g resina)		R (%)	
	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18
1:1	38.643	32.690	-1442.441	596.969	1.932	1.635	181.55	153.58
	38.524	33.643	-1198.445	448.573	1.926	1.682	184.60	161.21
	39.238	34.000	-2060.278	865.470	1.962	1.700	180.80	156.66
1:2	35.905	30.429	-1436.200	367.766	1.795	1.521	188.74	159.95
	36.262	30.548	-2436.144	404.101	1.813	1.527	181.53	152.92
	35.071	30.190	-1550.442	474.015	1.754	1.510	183.21	157.71
1:3	33.524	28.167	-1126.478	347.934	1.676	1.408	187.98	157.94
	31.738	28.048	-935.396	373.973	1.587	1.402	180.38	159.41
	32.810	28.167	-1378.282	394.330	1.641	1.408	185.22	159.01
1:4	29.714	27.690	-3327.436	255.608	1.486	1.385	181.79	169.41
	30.667	25.667	-1096.229	231.829	1.533	1.283	191.10	159.94
	29.952	26.262	-2012.903	232.212	1.498	1.313	181.26	158.93



Adsorción/desorción estática por el método ABTS

Dilución	Co inicial (mg/L)	Ce equilibrio (mg/L)		A (%)		qe (mg /g de resina)	
		DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18
1:1	51.727	32.485	32.632	37.2	36.9	50.915	50.911
	54.182	34.250	34.691	36.8	36.0	53.326	53.315
	46.727	40.647	35.059	13.0	25.0	45.711	45.851
1:2	39.000	27.632	30.059	29.1	22.9	38.309	38.249
	43.091	27.265	29.397	36.7	31.8	42.409	42.356
	40.364	29.324	28.956	27.4	28.3	39.631	39.640
1:3	35.727	24.985	91.088	30.1	155	35.102	33.450
	38.818	22.265	91.529	42.6	135.8	38.261	36.530
	38.545	22.044	90.353	42.8	134.4	37.994	36.286
1:4	30.273	23.147	87.412	23.5	188.7	29.694	28.088
	37.909	21.603	89.397	43.0	135.8	37.369	35.674
	32.455	22.926	87.926	29.4	170.9	31.882	30.257

Dilución	Cd (mg/L)		D (%)		qd (mg/g resina)		R (%)	
	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18
1:1	38.735	28.735	402.609	300.969	1.937	1.437	149.77	111.10
	35.132	26.750	352.519	274.486	1.757	1.338	129.68	98.74
	31.015	26.309	1020.230	450.960	1.551	1.315	132.75	112.61
1:2	31.603	22.632	555.999	506.252	1.580	1.132	162.07	116.06
	31.824	22.559	402.174	329.473	1.591	1.128	147.71	104.7
	38.411	24.176	695.851	423.843	1.921	1.209	190.32	119.79
1:3	18.294	22.926	340.607	82.824	0.915	1.146	102.41	128.34
	22.926	22.632	277.001	85.872	1.146	1.132	118.12	116.61
	25.132	23.735	304.612	91.627	1.257	1.187	130.40	123.15
1:4	20.132	19.691	565.029	68.923	1.007	0.985	133.00	130.09
	20.132	22.632	246.928	87.912	1.007	1.132	106.21	119.40
	23.221	20.941	487.375	75.503	1.161	1.047	143.10	129.05

Adsorción/desorción estática de fenoles totales

Dilución	Co inicial (mg/L)	Ce equilibrio (mg/L)		A (%)		qe (mg /g de resina)	
		DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18
1:1	152.217	120.000	128.478	21.2	15.6	149.217	149.005
	152.870	118.043	130.652	22.8	14.5	149.919	149.604
	156.022	121.413	133.152	22.2	14.7	152.987	152.693
1:2	146.457	116.413	131.413	20.5	10.3	143.547	143.172
	147.761	113.804	132.391	23.0	10.4	144.916	144.451
	147.543	117.174	128.043	20.6	13.2	144.614	144.342
1:3	144.935	112.609	121.087	22.3	16.5	142.120	141.908
	147.109	113.152	121.413	23.1	17.5	144.280	144.074
	143.848	110.109	120.543	23.5	16.2	141.095	140.834
1:4	147.543	114.348	117.391	22.5	20.4	144.684	144.608
	144.283	115.217	120.761	20.1	16.3	141.403	141.264
	145.587	111.522	120.109	23.4	17.5	142.799	142.584

Dilución	Cd (mg/L)		D (%)		qd (mg/g resina)		R (%)	
	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18	DIAION HP-20	DSC-18
1	80.109	56.957	497.309	479.860	4.005	2.848	105.26	74.84
	73.261	55.109	420.714	496.075	3.663	2.755	95.85	72.01
	78.152	59.022	451.628	516.152	3.908	2.951	100.18	75.66
2	55.435	31.957	369.025	424.847	2.772	1.598	75.70	43.64
	55.109	32.500	324.581	422.902	2.755	1.625	74.59	43.99
	54.891	32.500	361.494	333.333	2.745	1.625	74.41	44.05
3	29.457	33.152	182.250	278.028	1.473	1.658	40.65	45.75
	26.087	32.065	153.647	249.572	1.304	1.603	35.47	43.59
	25.326	33.478	150.129	287.303	1.266	1.674	35.21	46.55
4	22.500	22.717	135.563	150.683	1.125	1.136	30.50	30.79
	20.326	23.478	139.861	199.626	1.016	1.174	28.18	32.54
	21.304	22.174	125.079	174.064	1.065	1.109	29.27	30.46

Cálculos de adsorción/desorción estática

### Relación de Adsorción

$$A(\%) = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} * 100$$

$$A(\%) = \frac{(152.217 - 120.000)}{152.217} * 100$$

$$A(\%) = 21.16$$

### Capacidad de Adsorción

$$q_e = C_0 - (C_e) * \frac{(V_i)}{W}$$

$$q_e = 152.217 \text{ mg/L} - (120.000 \text{ mg/L}) * \frac{(0.025L)}{1g \text{ resina}}$$

$$q_e = 149,22 \frac{mg}{g \text{ resina}}$$

### Relación de Desorción

$$D\% = C_d \frac{V_d}{(C_0 - C_e)V_i} * 100$$

$$D\% = 80.109 \frac{0.05}{(152.217 - 120.0)0.025} * 100$$

$$D\% = 497.309$$

### Capacidad de Desorción

$$q_d = C_d * \frac{V_d}{W}$$

$$q_d = 80.109 \text{ mg/L} * \frac{0.05 L}{1g \text{ de resina}}$$

$$q_d = 4.005 \frac{mg}{g \text{ resina}}$$

### Porcentaje de Recuperación

$$R = \frac{C_d V_d}{C_0 V_i} * 100\%$$

$$R = \frac{80.109 \frac{mg}{L} * 0.05L}{152.217 \frac{mg}{L} * 0.025 L} * 100\%$$

$$R = 105.26 \%$$

**ANEXO N:** Datos sobre cinética de adsorción en la dilución 1:1  
**Fenoles Totales**

Tiempo (min)	DIAION HP-20			
	Ce (mg/L)	qe (mg/g resina)	qt (mg/g resina)	log (qe-qt)
30	118.261	150.746	150.69	3.433
	124.891	150.581		
	118.696	150.736		
60	121.304	150.670	301.37	3.408
	121.522	150.665		
	119.565	150.714		
90	124.348	150.594	452.05	3.382
	117.065	150.776		
	122.065	150.651		
120	119.022	150.727	602.72	3.354
	125.978	150.554		
	118.587	150.738		
150	121.304	150.670	753.37	3.324
	123.043	150.627		
	121.304	150.670		
180	122.174	150.649	904.02	3.292
	122.609	150.638		
	122.283	150.646		
210	122.283	150.646	1054.64	3.257
	123.804	150.608		
	123.913	150.605		
240	122.391	150.643	1205.23	3.219
	125.870	150.556		
	124.557	150.589		
270	121.739	150.660	1355.82	3.178
	127.717	150.510		
	124.239	150.597		
300	123.043	150.627	1506.39	3.132
	128.587	150.488		
	124.891	150.581		
330	126.196	150.548	1656.95	3.081
	124.891	150.581		
	125.652	150.562		
360	124.783	150.583	1807.51	3.023
	126.413	150.543		
	125.761	150.559		
420	124.348	150.594	1958.05	2.956
	127.065	150.526		
	128.152	150.499		
480	125.000	150.578	2108.56	2.877
	128.152	150.499		
	130.109	150.450		

540	128.261	150.496	2259.07	2.78
	128.370	150.494		
	127.065	150.526		
600	127.174	150.524	2409.56	2.655
	130.543	150.439		
	128.152	150.499		
660	129.457	150.467	2560.01	2.479
	129.674	150.461		
	130.326	150.445		
720	130.000	150.453	2710.45	2.178
	131.196	150.423		
	130.543	150.439		
1440	120.000	150.703	2861.161	0.00
	118.043	150.752		
	121.413	150.668		

Tiempo (min)	DSC-18			
	Ce (mg /L)	qe (mg/g resina)	qt (mg/g resina)	log (qe-qt)
30	112.717	150.885	150.79	3.433
	119.022	150.727		
	117.283	150.771		
60	114.457	150.842	301.58	3.408
	118.478	150.741		
	117.391	150.768		
90	124.022	150.602	452.31	3.382
	117.826	150.757		
	114.565	150.839		
120	117.174	150.774	603.05	3.354
	120.543	150.689		
	118.478	150.741		
150	119.239	150.722	753.78	3.324
	119.348	150.719		
	118.043	150.752		
180	122.391	150.643	904.46	3.292
	121.413	150.668		
	119.239	150.722		
210	117.174	150.774	1055.13	3.257
	124.348	150.594		
	121.304	150.670		
240	120.000	150.703	1205.81	3.219
	122.935	150.630		
	120.652	150.687		

270	121.304	150.670	1356.47	3.178
	122.065	150.651		
	121.196	150.673		
300	122.065	150.651	1507.12	3.132
	122.935	150.630		
	121.087	150.676		
330	120.870	150.681	1657.77	3.081
	123.043	150.627		
	123.370	150.619		
360	125.652	150.562	1808.41	3.023
	121.630	150.662		
	120.435	150.692		
420	124.022	150.602	1959.01	2.956
	122.391	150.643		
	125.761	150.559		
480	120.870	150.681	2109.62	2.877
	123.261	150.621		
	127.283	150.521		
540	130.109	150.450	2260.21	2.780
	122.283	150.646		
	120.326	150.695		
600	123.370	150.619	2410.79	2.655
	127.283	150.521		
	124.457	150.592		
660	124.022	150.602	2561.37	2.479
	123.804	150.608		
	127.065	150.526		
720	127.500	150.516	2711.92	2.177
	127.283	150.521		
	123.043	150.627		
1440	128.478	150.491	2.861.167	0.000
	130.652	150.437		
	133.152	150.374		

**ANEXO O: Datos sobre isotermas de adsorción y termodinámica en la dilución 1:1  
Fenoles Totales**

Temperatura (°C)	DIAION HP-20			DSC-18		
	Ce (mg/L)	qe (mg/g resina)	Ce/qe	Ce (mg/L)	qe (mg/g resina)	Ce/qe
25	120.000	149.217	0.804	128.478	149.005	0.862
	118.043	149.919	0.787	130.652	149.604	0.873
	121.413	152.987	0.794	133.152	152.693	0.872
35	148.370	148.508	0.999	147.717	148.524	0.995
	161.848	148.824	1.088	150.543	149.106	1.010
	150.217	152.267	0.987	149.674	152.280	0.983
45	151.848	148.421	1.023	143.043	148.641	0.962
	150.652	149.104	1.010	144.022	149.269	0.965
	147.609	152.332	0.969	148.370	152.313	0.974

**Actividad Antioxidante por el método ABTS**

Temperatura (°C)	DIAION HP-20			DSC-18		
	Ce (mg/L)	qe (mg/g resina)	Ce/qe	Ce (mg/L)	qe (mg/g resina)	Ce/qe
25	32.485	50.915	0.638	32.632	50.911	0.641
	34.250	53.326	0.642	34.691	53.315	0.651
	40.647	45.711	0.889	35.059	45.851	0.765
35	44.838	50.606	0.886	38.588	50.762	0.760
	45.206	53.052	0.852	40.353	53.173	0.759
	47.926	45.529	1.053	41.529	45.689	0.909
45	42.412	50.667	0.837	40.426	50.716	0.797
	44.029	53.081	0.829	42.926	53.109	0.808
	44.618	45.612	0.978	42.897	45.655	0.940

**Actividad Antioxidante por el método DPPH**

Temperatura (°C)	DIAION HP-20			DSC-18		
	Ce (mg/L)	Qe (mg/g resina)	Ce/Qe	Ce (mg/L)	Qe (mg/g resina)	Ce/Qe
25	47.929	41.373	1.158	31.619	41.781	0.757
	48.167	40.534	1.188	26.738	41.070	0.651
	47.214	42.225	1.118	35.548	42.516	0.836
35	45.071	41.444	1.088	40.548	41.557	0.976
	44.595	40.623	1.098	38.643	40.772	0.948
	46.381	42.245	1.098	38.881	42.433	0.916
45	44.833	41.450	1.082	40.310	41.563	0.970
	44.476	40.626	1.095	42.214	40.683	1.038
	42.095	42.353	0.994	43.881	42.308	1.037

**ANEXO P: Datos de adsorción/desorción dinámica en la dilución 1:1**  
**Fenoles Totales. Adsorción Dinámica**

Muestra	Absorbancia			Concentración (mg Ac.G/L)
	Señal 1	Señal 2	Promedio	
2VL	0.574	0.573	0.574	122.717
	0.586	0.584	0.585	125.217
	0.578	0.581	0.580	124.022
5VL	0.582	0.585	0.584	124.891
	0.576	0.576	0.576	123.261
	0.605	0.607	0.606	129.783
10VL	0.698	0.697	0.698	149.674
	0.685	0.684	0.685	146.848
	0.663	0.665	0.664	142.391

**Fenoles Totales. Desorción Dinámica**

Muestra	Absorbancia			Concentración (mg Ac.G/L)
	Señal 1	Señal 2	Promedio	
2VL	0.638	0.639	0.639	136.848
	0.634	0.629	0.632	135.326
	0.613	0.615	0.614	131.522
4VL	0.624	0.628	0.626	134.130
	0.619	0.617	0.618	132.391
	0.625	0.626	0.626	134.022
6VL	0.536	0.540	0.538	115.000
	0.538	0.539	0.539	115.109
	0.535	0.536	0.536	114.457

**Actividad Antioxidante por el método ABTS. Adsorción Dinámica**

Muestra	Absorbancia			Concentración (mg Trólox/L)
	Señal 1	Señal 2	Promedio	
2VL	0.870	0.871	0.871	29.818
	0.886	0.886	0.886	27.000
	0.882	0.880	0.881	27.909
5VL	0.831	0.828	0.830	37.273
	0.839	0.837	0.838	35.727
	0.838	0.832	0.835	36.273
10VL	0.768	0.770	0.769	48.273
	0.791	0.791	0.791	44.273
	0.781	0.778	0.780	46.364



### Actividad Antioxidante por el método ABTS. Desorción Dinámica

Muestra	Absorbancia			Concentración (mg Trólox/L)
	Señal 1	Señal 2	Promedio	
2VL	0.737	0.737	0.737	135.227
	0.753	0.755	0.754	127.500
	0.743	0.745	0.744	132.045
4VL	0.779	0.779	0.779	116.136
	0.774	0.773	0.774	118.636
	0.773	0.777	0.775	117.955
6VL	0.396	0.398	0.397	115.909
	0.414	0.416	0.415	112.632
	0.390	0.391	0.391	117.091

### Actividad Antioxidante por el método DPPH. Adsorción Dinámica

Muestra	Absorbancia			Concentración (mg Trólox/L)
	Señal 1	Señal 2	Promedio	
2VL	0.921	0.922	0.922	48.690
	0.916	0.913	0.915	52.857
	0.908	0.906	0.907	57.321
5VL	0.912	0.912	0.912	54.345
	0.908	0.910	0.909	56.131
	0.905	0.904	0.905	58.810
10VL	0.910	0.910	0.910	55.536
	0.889	0.889	0.889	68.036
	0.891	0.890	0.891	67.143

### Actividad Antioxidante por el método DPPH. Desorción Dinámica

Muestra	Absorbancia			Concentración (mg Trólox/L)
	Señal 1	Señal 2	Promedio	
2VL	0.837	0.838	0.838	98.690
	0.832	0.829	0.831	102.857
	0.845	0.845	0.845	94.226
4VL	0.818	0.820	0.819	109.702
	0.846	0.848	0.847	93.036
	0.816	0.816	0.816	111.488
6VL	0.530	0.531	0.531	112.571
	0.515	0.517	0.516	116.024
	0.536	0.533	0.535	111.619

### Cálculos de adsorción/desorción estática

Determinación de la concentración de fenoles totales en los extractos de adsorción dinámica

Ecuación de la curva:  $y = 0.0046x + 0.0093$



$$x = \frac{y - 0.0093}{0.0046}$$

$$x = \frac{(0.574 - 0.0093)}{0.0046}$$

$$x = 122.76 \frac{\text{mg Ac. Gálico}}{\text{L solución}}$$

Determinación de la concentración de actividad antioxidante por el método ABTS en los extractos de adsorción dinámica

Ecuación de la curva:  $y = -0.0055x + 1.0345$



$$x = \frac{y - 1.0345}{-0.0055}$$

$$x = \frac{(0.871 - 1.0345)}{-0.0055}$$

$$x = 29.72 \frac{\text{mg Trólox}}{\text{L solución}}$$

Determinación de la concentración de actividad antioxidante por el método DPPH en los extractos de adsorción dinámica

Ecuación de la curva:  $y = -0.0042x + 1.0033$



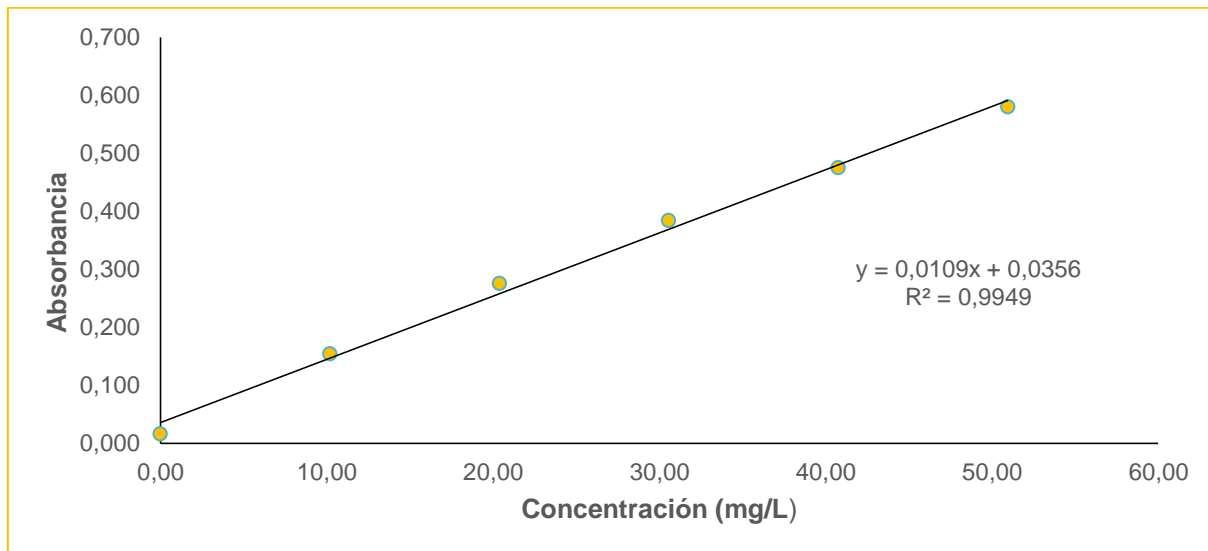
$$x = \frac{y - 1.0033}{-0.0042}$$

$$x = \frac{(0.922 - 1.0033)}{-0.0042}$$

$$x = 48.39 \frac{\text{mg Trólox}}{\text{L solución}}$$

**ANEXO Q:** Datos y cálculos sobre el contenido de azúcares en los extractos

**Curva de Calibración y preparación de estándares de glucosa**



w (g)	PM	Riqueza	Aforo	Concentración Madre
Glucosa	g/mol	%	(mL)	(mg/L)
0.0103	180.06	99	100	101.97

Alícuota	Aforo	Concentración	Absorbancia
(mL)	(mL)	(mg Glucosa/L)	(nm)
0	2	0.00	0.016
0.2	2	10.20	0.154
0.4	2	20.39	0.275
0.6	2	30.59	0.383
0.8	2	40.79	0.474
1.0	2	50.99	0.579

### Determinación del contenido de azúcares en extractos de subproductos de mango

Muestra		Absorbancia			Concentración	
		Señal 1	Señal 2	Promedio	(mg Glucosa /L)	(mg Glucosa/g extracto)
Dilución 1:1	1:1	0.481	0.486	0.484	41.092	1657.482
	1:1	0.483	0.489	0.486	41.321	1666.733
	1:1	0.480	0.483	0.482	40.908	1650.081
Dilución 1:2	1:2	0.572	0.571	0.572	49.165	1053.539
	1:2	0.576	0.573	0.575	49.440	1059.436
	1:2	0.579	0.577	0.578	49.761	1066.317
Dilución 1:3	1:3	0.426	0.425	0.426	35.771	809.901
	1:3	0.422	0.428	0.425	35.725	808.863
	1:3	0.423	0.426	0.425	35.679	807.824
Dilución 1:4	1:4	0.334	0.322	0.328	26.826	541.022
	1:4	0.332	0.332	0.332	27.193	548.423
	1: 4	0.318	0.318	0.318	25.908	522.519
CINETICA 12 h	DIAION HP-20	0.171	0.170	0.171	12.376	249.603
	DIAION HP-20	0.177	0.178	0.178	13.018	262.555
	DIAION HP-20	0.174	0.176	0.175	12.789	257.929
CINETICA 12 h	DSC-18	0.179	0.178	0.179	13.110	264.405
	DSC-18	0.176	0.175	0.176	12.835	258.854
	DSC-18	0.175	0.172	0.174	12.651	255.154
ADSORCIÓN DINÁMICA	2 VL	0.430	0.433	0.432	36.321	732.526
	2VL	0.442	0.448	0.445	37.560	757.505
	2 VL	0.446	0.449	0.448	37.789	762.131
DESORCIÓN DINÁMICA	2 VL	0.178	0.179	0.179	13.110	165.872
	2 VL	0.176	0.177	0.177	12.927	163.550
	2 VL	0.179	0.179	0.179	13.156	166.452

## Cálculos de azúcares en extractos de subproductos de mango

Determinación del contenido de azúcares en los extractos de subproductos de mango

Ecuación de la curva:

$$y = 0.0109x + 0.0356$$



$$x = \frac{y - 0.0356}{0.0109}$$

$$x = \frac{0.484 - 0.0356}{0.0109}$$

$$x = 41.14 \frac{\text{mg Glucosa}}{\text{L solución}} * FD$$

$$x = 49368 \frac{\text{mg Glucosa}}{\text{L solución}} * \frac{\text{L solución}}{29.75 \text{ g extracto}}$$

$$x = 16593.43 \frac{\text{mg Glucosa}}{\text{g extracto}}$$

## ANEXO R: Análisis estadístico

### FENOLES TOTALES

#### ANOVA Unidireccional: qe vs. Diluciones y Resinas

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Diluciones	3	242,482	80,8273	39,55	0,000
Resinas	1	0,001	0,0012	0,00	0,981
Error	19	38,827	2,0435		
Total	23	281,311			

S= 1,4295 R-cuad= 86,20% R-cuad. (ajustado)= 83,29%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Diluciones	N	Media	Agrupación
1:1	6	150,572	A
1:2	6	144,173	B
1:3	6	142,925	B
1:4	6	142,888	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Resinas	N	Media	Agrupación
DSC-18	12	145,147	A
Diaion Hp-20	12	145,133	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

#### ANOVA Unidireccional: qd vs. Diluciones y Resinas

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Diluciones	3	17,5422	5,84741	43,97	0,000
Resinas	1	1,1881	1,18815	8,93	0,008
Error	19	2,5268	0,13299		
Total	23	21,2571			

S =0,3645 R-cuad.=88,11% R-cuad. (ajustado)=85,61%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Diluciones	N	Media	Agrupación
1:1	6	3,35667	A
1:2	6	2,18833	B
1:3	6	1,49500	C
1:4	6	1,10667	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Resinas	N	Media	Agrupación
Diaion Hp-20	12	2,25917	A
DSC-18	12	1,81417	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

### ANOVA Unidireccional: R vs. Diluciones y Resinas

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Diluciones	3	11182,3	3727,43	38,71	0,000
Resinas	1	832,0	832,02	8,64	0,008
Error	19	1829,4	96,29		
Total	23	13843,8			

S= 9,8126 R-cuad. =86,79% R-cuad. (ajustado)=84,00%

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Diluciones	N	Media	Agrupación
1:1	6	87,3150	A
1:2	6	59,3967	B
1:3	6	41,2033	C
1:4	6	30,2900	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Resinas	N	Media	Agrupación
Diaion Hp-20	12	60,4392	A
DSC-18	12	48,6633	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.