

**OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES
A PARTIR DE LA BATATA (*Ipomoea batatas* Lam) Y AJUSTE DE LOS
PARÁMETROS CINÉTICOS**

**JHON FREDI MALAVER RODRÍGUEZ
SILVIA JULIANA RODRÍGUEZ FORERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2017

**OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES
A PARTIR DE LA BATATA (*Ipomoea batatas* Lam) Y AJUSTE DE LOS
PARÁMETROS CINÉTICOS**

**JHON FREDI MALAVER RODRÍGUEZ
SILVIA JULIANA RODRÍGUEZ FORERO**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
Ingeniero Químico**

Director

**Prof. LUIS JAVIER LÓPEZ GIRALDO
Ingeniero Químico, Ph.D.**

Co-director

**SERGIO MAURICIO PICO HERNÁNDEZ
Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2017

|

Dedico este logro en primer lugar a Dios porque me ha bendecido a lo largo de mi vida, especialmente al brindar su bondad para guiarme hacia Él, mostrando su amor incondicional por medio de Cristo al salvarme de la condenación a causa de mi maldad y transformando mi ser para su gloria.

A mis padres Sofía Rodríguez y Horacio Malaver porque encaminaron mi vida bajo principios de rectitud y moralidad con su ejemplo, siendo apoyo y fortaleza en la gracia del Señor para avanzar en mi formación.

A mis abuelos Saúl y María Magdalena por ser parte del fundamento de mi carácter, al enseñarme sobre el valor del amor e importancia de la familia.

A mis hermanos Wilson Andrés y Leidy Rocío por la fe que mantuvieron en mí y el ánimo dado en los momentos de dificultad.

A ella por ser la luz en mi corazón donde pude refugiarme cada día, al ser la verdad absoluta que sostiene mi existencia por la cual conozco la voluntad de Dios.

Por último, a Natalí quien confió su corazón para que lo resguardara y en los últimos años cubrió mi vida con su cariño que en la misericordia de Dios espero conservar y poder honrar hasta el término de mis días.

Jhon Fredi Malaver Rodríguez

¹ Sed, pues, imitadores de Dios como hijos amados. ² Y andad en amor, como también Cristo nos amó, y se entregó a sí mismo por nosotros, ofrenda y sacrificio a Dios en olor fragante. Efesios 5:1-2

|

Dedicada a mis padres Ana y Horacio que son la fuente de mi inspiración y de mi esmero, como también a mis hermanas Stefany y Alejandra por ser ese apoyo incondicional.

Silvia Juliana Rodríguez Forero

AGRADECIMIENTOS

Al Señor nuestro Dios por el respaldo concedido a lo largo del desarrollo de la investigación para el cumplimiento de los objetivos trazados en el proyecto.

Al Doctor Luis Javier López Giraldo e Ingeniero Sergio Mauricio Pico Hernández por la confianza, colaboración y constante consejo aportado en cada paso de éste proyecto.

A la escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, a sus directivos(as), planta docente y compañeros de formación por su colaboración.

Al Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos CICTA por la guía en toda la fase experimental, así mismo a sus integrantes por sus enseñanzas tanto académicas como morales.

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Corpoica por suministrarnos el material requerido para el desarrollo del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1 METODOLOGÍA	21
1.1 DIAGRAMA METODOLÓGICO	21
1.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ELECCIÓN DE LAS VARIABLES	22
1.3 RECOLECCIÓN, ACONDICIONAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	23
1.4 EXTRACCIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LOS EXTRACTOS	25
1.5 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (CPT)	25
1.6 DETERMINACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE EXTRACCIÓN	26
1.7 DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (CA) PARA EL PUNTO ÓPTIMO	26
1.7.1 Determinación de la capacidad antioxidante por DPPH	26
1.7.2 Medición de la capacidad antioxidante por el método de ABTS	27
1.8 IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE FLAVONOIDES POR MEDIO DE CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA HPLC	27
1.9 VALIDACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE EXTRACCIÓN	28
1.10 CINÉTICA DE EXTRACCIÓN	28
1.11 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES Y EVALUACIÓN DEL MODELO	29
2 RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DE BATATA	30
2.2 INHIBICIÓN DE POLIFENOL OXIDASA (PPO) EN LA BATATA	31

|

2.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA, RELACIÓN HARINA/SOLVENTE Y RELACIÓN ETANOL/AGUA SOBRE EL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES DE LOS EXTRACTOS	32
2.4 OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES	37
2.5 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS EXTRACTOS	39
2.6 IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE FLAVONOIDES PRESENTES EN LA BATATA	40
2.7 CINÉTICA DE EXTRACCIÓN	41
3 CONCLUSIONES	44
4 RECOMENDACIONES	45
BIBLIOGRAFÍA	46
ANEXOS	56

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variables independientes y los niveles a emplear.	22
Tabla 2. Métodos de inhibición evaluados.	24
Tabla 3. Modelos cinéticos evaluados.	29
Tabla 4. Composición de las harinas de batata.	30
Tabla 5. Coeficientes de regresión estimados desde un modelo de cuadrático.	35
Tabla 6. Coeficientes de regresión con significancia (valor $p < 0,05$).	36
Tabla 7. AARD para las condiciones óptimas de extracción.	38
Tabla 8. AARD respecto a las condiciones óptimas de extracción del clon de batata blanca.	38
Tabla 9. Capacidad antioxidante de los extractos de las harinas de batata por métodos ABTS y DPPH.	39
Tabla 10. Parámetros cinéticos de los modelos ajustados.	42
Tabla 11. Comparación de métodos de extracción.	43

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura básica de un flavonoide.	19
Figura 2. Metodología utilizada en esta investigación.	21
Figura 3. Materiales de batata objeto de estudio en el proyecto. Batata blanca (izquierda), amarilla (centro) y naranja (derecha).	23
Figura 4. Evaluación del contenido de polifenoles totales extraíbles de la batata conforme el agente inhibidor y la relación harina/solvente varían a una relación etanol/agua (80/20). a: sin agente inhibidor y relación H/S 1/12,5. b: sin agente inhibidor y relación 1/50. c: Agente inhibidor L-cisteína: ácido ascórbico (35mM:35mM) y relación H/S 1/12,5. d: Agente inhibidor L-cisteína: ácido ascórbico (35mM:35mM) y relación H/S 1/50. e: Agente inhibidor ácido ascórbico (0,2% p/v) y relación H/S 1/12,5. f: Agente inhibidor ácido ascórbico (0,2%p/v) y relación H/S 1/50.	31
Figura 5. Evaluación del contenido de polifenoles totales extraíbles de la batata conforme varían la temperatura y relación harina/solvente (p/v) a una relación etanol/agua (75/25). a, b y c relación H/S 1/40 y d, e y f relación H/S 1/10.	33
Figura 6. Diagrama Pareto de la batata blanca.	33
Figura 7. Diagrama de efectos principales para la batata blanca.	34
Figura 8. Superficie de respuesta isotérmica (303,15 K) para el CPT en función de la relación H/S y relación E/A, del material de batata blanca.	36

|

Figura 9. Cromatograma batata naranja. 40

Figura 10. Curvas de extracción de polifenoles en los tres materiales de batata: blanca, amarilla y naranja a temperatura ambiente. 41

LISTAS DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Curva de secado de los tres materiales de batata.	57
ANEXO B. Curva de calibración del ácido gálico.	57
ANEXO C. Curva de calibración DPPH.	58
ANEXO D. Curva de calibración ABTS.	58
ANEXO E. Curva de calibración de la (+)-catequina.	59
ANEXO F. Evaluación del contenido de polifenoles totales extraíbles de la batata conforme varían la temperatura y relación harina/solvente (p/v) a una relación etanol/agua (25/75). a, b y c relación H/S 1/40 y d, e y f relación H/S 1/10.	59
ANEXO G. Análisis ANOVA de los tres materiales de batata.	60
ANEXO H. Diagramas Pareto de la batata amarilla.	61
ANEXO I. Diagramas Pareto de la batata naranja.	61
ANEXO J. Gráfica de efectos principales para la batata amarilla.	62
ANEXO K. Gráfica de efectos principales para la batata naranja.	62

|

ANEXO L. Superficie de respuesta isotérmica (303,15 K) para el CPT en función de la relación H/S y relación E/A, del material de batata amarilla.	63
ANEXO M. Superficie de respuesta isotérmica (303,15 K) para el CPT en función de la relación H/S y relación E/A, del material de batata naranja.	63
ANEXO N. Cantidad de polifenoles totales extraíbles por cada punto del diseño estadístico.	64
ANEXO O. Cromatograma de la batata blanca.	65
ANEXO P. Cromatograma de la batata amarilla.	65
ANEXO Q. Resultados experimentales de la cinética para los materiales de batata a condiciones intermedias: relación H/S 1/100 (p/v), relación E/A 39,5/60,5 (v/v) y temperatura de 303,15 K.	66

RESUMEN

TÍTULO: OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES A PARTIR DE LA BATATA (*Ipomoea batatas* Lam) Y AJUSTE DE LOS PARÁMETROS CINÉTICOS*

AUTORES: Malaver Rodríguez, Jhon Fredi

Rodríguez Forero, Silvia Juliana**

PALABRAS CLAVES: polifenoles, extracción sólido líquido, batata.

DESCRIPCIÓN:

Los polifenoles tienen gran uso en la industria farmacéutica, cosmética y de alimentos. Estos pueden hallarse de forma amplia en los vegetales y por ello el interés de extraerlos de diferentes matrices, como la batata. Para lograrlo es necesario garantizar las condiciones que favorezcan el rendimiento. Por tanto, en este trabajo se evaluó la temperatura (T), relación harina/solvente (H/S) y relación etanol/agua (E/A) sobre la extracción sólido líquido de polifenoles; empleando un diseño factorial 2^3 + puntos centrales + puntos estrella con replica. Además, se ajustaron los parámetros cinéticos del proceso, evaluando diferentes modelos matemáticos (Page, Peleg, Logarítmico y Pseudo primer orden) para describir este tipo de fenómeno. Esto se realizó evaluando tres materiales de batata (blanca, amarilla y naranja).

Los resultados experimentales fueron ajustados a un modelo cuadrático con un R^2 superior a 86,25% y arrojaron que: la relación H/S y relación E/A tienen un efecto significativo sobre el contenido de polifenoles totales (CPT). En los mayores rendimientos (14,55; 17,75 y 20,89 mg EAG/g ms) para las batatas amarilla, blanca y naranja respectivamente, las condiciones óptimas fueron relación E/A 40/6040 (v/v) y relación H/S 1/100 (p/v) evaluados a temperatura de 303,15 K. Así mismo la cinética del proceso se ajustó con un R^2 superior 97,9% en modelo de Peleg observándose que el proceso de extracción de polifenoles es rápido comparado con otras matrices porque requiere un tiempo inferior a 40 min para alcanzar el equilibrio.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Director: Luis Javier López Giraldo, Ingeniero Químico, Ph.D.

ABSTRACT

TITLE: OPTIMIZATION OF THE CONDITIONS FOR EXTRACTION OF POLYPHENOLS FROM SWEET POTATO (*Ipomoea batatas* Lam) AND ADJUSTMENT OF KINETIC PARAMETERS*

AUTHORS: Malaver Rodríguez, Jhon Fredi

Rodríguez Forero, Silvia Juliana**

KEYWORDS: polyphenols, solid liquid extraction, sweet potato.

DESCRIPTION:

Polyphenols have great use in the pharmaceutical, cosmetic and food industries. These can be found widely in vegetables and therefore the interest to extract them from different matrices, such as potatoes. To achieve this, it is necessary to guarantee conditions that favor performance. Therefore, in this work the temperature (T), flour / solvent ratio (F/S) and ethanol / water ratio (E/W) on liquid solid extraction of polyphenols were evaluated; Using a factorial design 2^3 + central points + replicate star points. In addition, the kinetic parameters of the process were adjusted, evaluating different mathematical models (Page, Peleg, Logarithmic and Pseudo first order) to describe this type of phenomenon. This was done by evaluating three potato materials (white, yellow and orange).

The experimental results were adjusted to a quadratic model with a R^2 greater than 86,25% and showed that: The F/S ratio and E/W ratio have a significant effect on total polyphenol content (TPC). In the highest yields (14,55; 17,75 and 20,89 mg GAE /g dw) for sweet potatoes yellow, white and orange respectively, the optimum conditions were ratio E/A 40/60 (v/v) and ratio H/S 1/100 (w/v) evaluated at a temperature of 303,15 K. Also the kinetics of the process was adjusted with a R^2 higher 97,9% in model Peleg observed that the extraction process of polyphenol is fast compared other matrices because it requires less than 40 min to reach equilibrium.

*Undergraduate Project

** Physical and Chemical Engineering's Faculty. School of Chemical Engineering. Food Science and Technology Research Center. Advisor: Luis Javier López Giraldo, Chemical Engineer, Ph.D.

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país con gran potencial en el sector primario, donde productos como el cacao, café, algodón, flores y banano lo han posicionado a nivel mundial (Procolombia 2016). Esto debido a su ubicación geográfica y a sus características agroecológicas que otorgan atributos casi únicos en el mundo. Es por esto que entidades gubernamentales en los últimos años han hecho esfuerzos para potencializar el uso de matrices vegetales o sus derivados en áreas de la industria farmacéutica, cosmética y de alimentos para el aprovechamiento eficiente de sus cultivos y posicionar a Colombia como uno de los países líderes en el sector agroindustrial, lo que ha permitido que el sector agropecuario tenga un crecimiento continuo.

Una de las matrices vegetales con mayor proyección para exportar es la batata, junto con otros alimentos como arroz, el trigo, la papa, el maíz y la yuca (Shekhar *et al.* 2015) La producción mundial de batata está liderada por China que cubre un 80% de la producción mundial (FAO 2015), seguido por países africanos y América Latina que ha aumentado su participación en la siembra de este tubérculo. Su producción es incipiente en Colombia; sin embargo, en los últimos años se ha intensificado su estudio debido a su aplicación en productos de mayor valor agregado en la industria agroindustrial y farmacéutica, especialmente en la transformación del fruto que es rechazado debido a que no cumple con los estándares exigidos para exportación.

A nivel mundial la batata es utilizada en la obtención de productos derivados como saborizantes y colorantes, almidón, bioplástico, insumos de repostería (Martí *et al.* 2011) y forraje. En Colombia su uso se ha centrado en dietas alimentarias (Rodríguez 2008) y producción de bioetanol (Lareo *et al.* 2013). Este tubérculo también conocido como camote o boniato pertenece a la familia *Convolvulaceae* (gloria de la mañana), es una planta de origen probable del noroeste de Suramérica, las cuatro variedades de batata más comunes se diferencian según la tonalidad de

|

la pulpa; blanca, amarilla, naranja y morada, que tienen características químicas y funcionales distintas (Tang *et al.* 2015).

Investigaciones realizadas en China y Japón han direccionado su atención en la extracción de polifenoles, medición de su capacidad antioxidante por métodos como ABTS, DPPH, FRAP y ORAC y rendimiento del proceso de extracción a partir de diferentes partes de la batata como la raíz (Tanaka y Uritani 1977) y la hoja (Fu *et al.* 2016). Por otra parte, estudios en Francia han identificado y cuantificado por medio de cromatografía en capa fina de alto rendimiento (HPTLC) polifenoles responsables de la actividad antioxidante de diferentes materiales de batata (Lebot *et al.* 2016). Sin embargo, la gran variedad de materiales vegetales hace que cada familia en particular tenga un perfil de polifenoles que las caracterizan (Cusumano y Zamudio 2013).

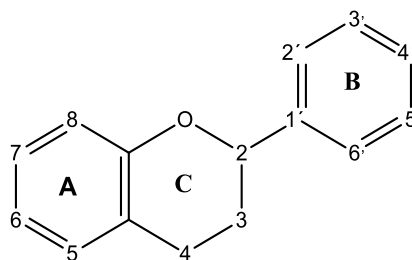
La batata es un tubérculo reconocido por su alto valor energético (Kalloo y Bergh 1993); así mismo es una excelente fuente de vitaminas, minerales, fibras dietéticas y elementos bioactivos como antocianinas, carotenoides y polifenoles (Ishida *et al.* 2000; Hernández 2016). Estos últimos son de gran interés debido a los efectos positivos que brindan en la salud, ya que tienen propiedades antioxidantes (Carlsen *et al.* 2010), lo cual se refleja en la prevención de ciertos daños cerebrales, enfermedades cardiovasculares y desordenes hormonales (Wu *et al.* 2016; Du *et al.* 2016); así como la disminución relativa de padecer enfermedades crónicas no transmisibles, como la diabetes, el cáncer, la arterioesclerosis y el Alzheimer (Granzotto y Zatta 2014; Cazzola *et al.* 2016).

Los polifenoles son metabolitos secundarios de las plantas que actúan como defensores ante ataques fúngicos o bacterianos y contribuyen a la pigmentación de la planta. Estos compuestos poseen una alta diversidad estructural y pueden ser divididos en dos subgrupos principales: los flavonoides y los no flavonoides. Los flavonoides comparten una estructura benzo-pirona (C6-C3-C6) (Figura 1), y en entre ellos se encuentran las flavanonas, flavan-3-oles, flavonas, entre otros. Por

|

otro lado, los no flavonoides están representados por ácidos fenólicos simples, como el ácido gálico, protocatéquico, cinámico y sus derivados (Talapatra y Talapatra 2015). Los polifenoles son compuestos reconocidos por su comportamiento antioxidante, el cual está relacionado con la capacidad para quelar metales, ya sea manteniendo o incrementando su actividad catalítica o reduciéndola, así mismo la capacidad antioxidante se relaciona con los grupos OH, los cuales, confieren la particularidad de actuar como neutralizadores de radicales libres (Pulido *et al.* 2000).

Figura 1. Estructura básica de un flavonoide.



Convencionalmente la extracción de estos compuestos a partir de matrices vegetales se realiza con uso de solventes orgánicos y variando la temperatura, los solventes más utilizados han sido el metanol, etanol, acetona y hexano para las fracciones lipídicas de polifenoles; sin embargo, el etanol es el solvente con mayor grado de aceptación para la extracción de productos naturales destinados al consumo humano (Lang y Wai 2001). Recientemente se ha estudiado la extracción con fluidos supercríticos usando dióxido de carbono, lo que permite separar sustancias principalmente de carácter liposoluble, sin embargo, es necesario el uso de un co-solvente para la extracción de sustancias polares como los polifenoles (Farías-Campomanes *et al.* 2013), aunque esta técnica es selectiva y permite obtener extractos libres de trazas de solventes es una técnica de alto costo económico y operacional.

La extracción de uno o más componentes a través de un sólido pulverizado con uso de un o una mezcla de disolventes químicos, generalmente conocida como extracción sólido-líquido o lixiviación, es un proceso diseñado para recuperar

|

compuestos solubles, mediante difusión. Es un método muy utilizado en la recuperación de polifenoles a partir de residuos sólidos agroindustriales (Li 2006; Amendola 2010).

La extracción de polifenoles a partir de matrices vegetales está influenciada por la (i) *temperatura* (Çam y Hisil 2010) debido a que el calentamiento ablanda el material vegetal y así debilita la pared celular favoreciendo la liberación de polifenoles, el uso de (ii) *solventes orgánicos* (Priego-Capote 2004) ya que la extracción es favorecida por el grado de afinidad de las fracciones sólida y líquida en criterio de polaridad y naturaleza permitiendo el arrastre de compuestos bioactivos, (iii) *tiempo de extracción* determina el contacto entre el material sólido y el solvente, (iv) *tamaño de partícula* (Çam y Hisil 2010) aumentando el porcentaje de área de contacto, (v) *relaciones de sólido: solvente* es la fuerza impulsora relacionada con los gradientes de concentración entre el sólido y el solvente y pH.

La naturaleza y estructura de matrices vegetales varía de manera notable entre las diferentes especies, por lo cual no se puede generalizar las condiciones de extracción de compuestos bioactivos y debe evaluarse para cada matriz el efecto que sobre la misma genera los factores más influyentes.

A lo mejor de nuestro conocimiento no existe caracterización previa de materiales nativos de batata, ni estudios del efecto de las condiciones de extracción sobre el contenido polifenoles. Así mismo, la literatura consultada no reporta estudios previos en el tema de ajuste de parámetros cinéticos del proceso de extracción, los cuales son necesarios a la hora de diseñar y controlar un proceso a mayor escala

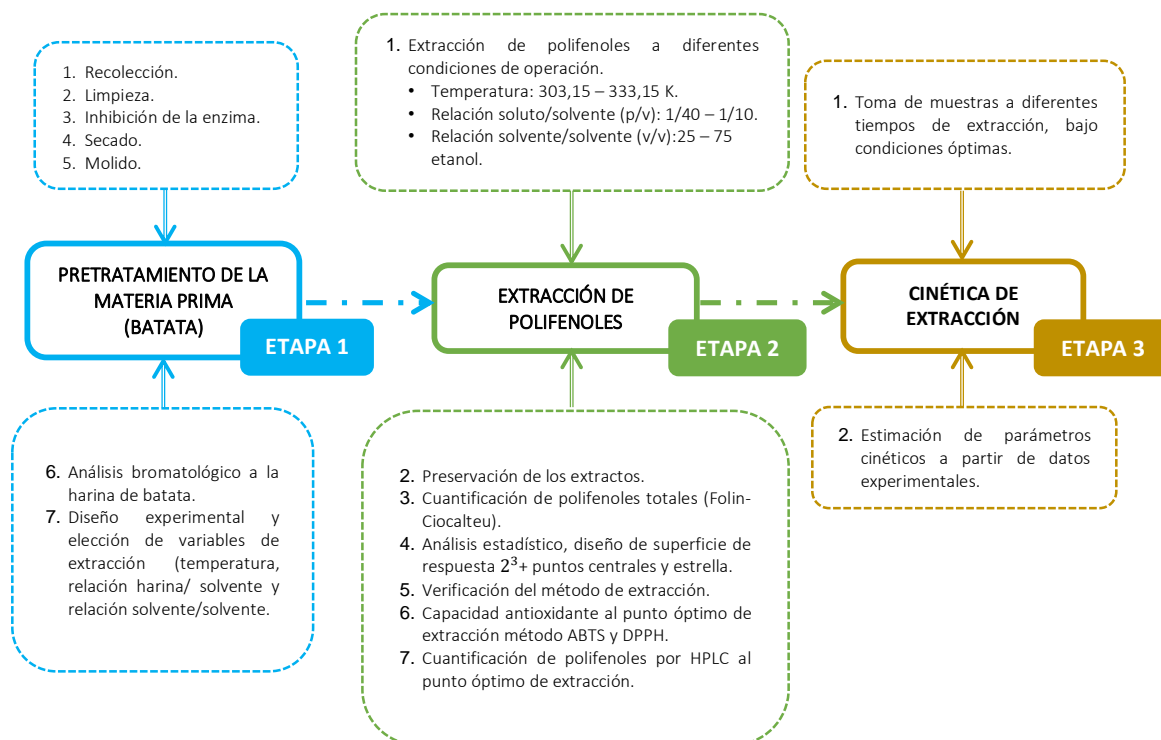
En relación a lo plasmado anteriormente, el fin de este trabajo es optimizar las condiciones de extracción para obtener la mayor cantidad de compuestos polifenólicos en tres variedades de batata. Además, en este estudio se pretende: i) medir la capacidad antioxidante en el punto óptimo de extracción por medio de los métodos DPPH y ABTS ii) identificar y cuantificar los flavonoides por medio de cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC y iii) hallar una cinética de extracción.

1 METODOLOGÍA

1.1 DIAGRAMA METODOLÓGICO.

En la figura 2, se presenta la secuencia metodológica llevada a cabo en esta investigación.

Figura 2. Metodología utilizada en esta investigación.



REACTIVOS.

L-cisteína (99 % p/p), ácido ascórbico (99 % p/p), etanol absoluto (99,9 % v/v), ácido cítrico (99,5 % p/p), ácido fórmico (grado HPLC), acetonitrilo (grado HPLC), ácido gálico (99,9 % p/p), reactivo de Folin-Ciocalteu (99,9 % v/v), carbonato de sodio (99,9 % p/p), ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox®) (99,9 % p/p), ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico (ABTS) (98 % p/p), 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH) (99,9 % p/p), metanol (99,8 % v/v).

MATERIALES Y EQUIPOS DE LABORATORIO.

Balanza analítica AB204-S (Mettler Toledo), espectrofotómetro (Thermo Spectronic, modelo GENESYS 20), centrifuga Megafuge^{16R} (Thermo Scientific), potenciómetro pH (Schott Geratey), molino de cuchillas (RETSCH), estufa (WTC Blinder), tamiz (WS-Tyler), HPLC ultimate 3300 (Thermo Scientific), Espectrofluorímetro (Fluoroskan, modelo Ascent 2.6), rotoevaporador (Büchi, modelo R-210), agitador de vórtice (Heidolph Reax Top, modelo 036130000) y malla # 80 de la serie Tyler.

1.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ELECCIÓN DE LAS VARIABLES.

Los factores a estudiar en esta investigación son a) Temperatura, b) Relación harina/solvente y la c) Relación etanol/agua, debido a que son los factores con mayor incidencia en procesos de extracción a partir de matrices vegetales (Bucić-Kojić *et al.* 2007). Otras variables que interfieren en menor medida en el proceso se mantuvieron constantes, como el tamaño de partícula, en 0,180 mm, valor optimizado por Gião *et al.* (Gião *et al.* 2009), pH ligeramente ácido (5-6) (Arabshahid *et al.* 2007; Chen *et al.* 2008); agitación constante de 400 rpm (Makris 2010) y un tiempo de 15 minutos (Cadena y Herrera 2008).

Con el fin de evaluar los factores con más influencia sobre la cantidad de polifenoles totales extraíbles se planteó un diseño de superficie de respuesta 2^3 + puntos centrales + puntos estrella. En la tabla 1 se muestran los niveles altos y bajos para cada una de las variables. Los límites de extracción se fijaron de acuerdo con la temperatura en que se desnaturalizan de los compuestos (Çam y Hisil 2010), en lo que respecta al porcentaje de etanol éste se incluyó con el fin de tener solventes con polaridad diferentes (Priego-Capote 2004).

Tabla 1. Variables independientes y los niveles a emplear.

Variables independientes	Niveles de los factores		Puntos axiales		Puntos centrales
	Bajo	Alto	Bajo	Alto	(0)
Temperatura [K]	303,15	333,15	292,95	343,35	318,15
Relación harina/solvente [p/v]	1/40	1/10	1/100	1/8	1/16
Relación etanol/agua [v/v]	25	75	8	92	50

|

La variable de respuesta evaluada en todos los puntos experimentales fue la concentración de polifenoles, la cual fue expresada en términos de miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca (mg EAG/g ms). Así mismo, todos los experimentos realizados se desarrollaron tomando como base un tiempo de extracción igual a 15 min.

1.3 RECOLECCIÓN, ACONDICIONAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

Los frutos fueron suministrados por la corporación colombiana de investigación agropecuaria (Corpoica). Se seleccionarán 2 kg de cada una de las batatas (amarilla, blanca y naranja, ver figura 3) cuidando de seleccionar las que presenten características de madurez similares, la selección no obedeció a sus características morfológicas, ya que el objetivo de este trabajo es caracterizar harinas de batatas de frutos que no cumplen las condiciones exigidas para su exportación y en consecuencia no están siendo valorizadas.

Figura 3. Materiales de batata objeto de estudio en el proyecto. Batata blanca (izquierda), amarilla (centro) y naranja (derecha).



Una vez con el material, éste fue transportado al laboratorio del Grupo de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CICTA) guardando cadena de frío (aproximadamente 277,15 K). Una vez allí las batatas fueron sometidas a un proceso de limpieza y desinfección con una solución de hipoclorito de sodio al

0,05%(v/v), el material limpio fue sometido a un segundo proceso de corte en trozos que no superará los 0,125 cm x 0,125 cm.

Debido a la presencia de la enzima polifenol oxidasa (PPO) en la batata (Manohan y Wai 2012), fue necesario someter el material a tratamiento térmico para inactivar su acción y evitar la posible oxidación (Sierra y Peñaranda 2013). Para esta etapa, se evaluaron dos métodos de inhibición bajo condiciones optimizadas en el grupo de investigación, teniendo como variable de respuesta el contenido de polifenoles totales (CPT).

Tabla 2. Métodos de inhibición evaluados.

Metodología	Agentes reductores	Condiciones de operación
Método I	Ácido ascórbico 35mM L-cisteína 35mM	Baño 369,15 K durante 6,6min Choque térmico (277,15 K) durante 30min.
Método II	Ácido ascórbico 0,2%(p/v)	Baño 368,15 K durante 5min Choque térmico (277,15 K) durante 30min.

La inhibición se realizó en dos etapas, en la primera etapa del proceso 500 gramos de batata en trozos se ponen en contacto con 2000 cm³ de solución inhibidora en un reactor enzimático a la temperatura requerida por cada metodología, durante los tiempos consignados en la tabla 2, tiempos determinados como óptimos de acuerdo a estudios previos (Manohan y Wai 2012; Godoy 2015). En la segunda etapa se realizó choque térmico, la batata en trozos es sumergida en agua fría 274,15 (±4,15) K durante 30 min. Transcurrido el tiempo, el material es lavado varias veces (al menos 3) con abundante agua para retirar cualquier residuo de agente químico.

El material inactivo es sometido a un proceso de secado empleando un horno de bandejas con recirculación de aire a 323,15 K durante 24 horas hasta alcanzar peso constante (para mayor detalle, ver cinética de secado, anexo A). Finalmente, el tamaño fue reducido con un molino de cuchillas hasta asegurar un tamaño de partícula menor 0,180 mm (malla # 80 de la serie Tyler), después la harina es

|
almacenada al vacío y aislado de la luz a una temperatura de 274,15 K hasta su uso.

Con el fin de conocer de primera mano la cantidad de macronutrientes que contiene el material, éste fue sometido a un análisis bromatológico. Dicha caracterización fue realizada por triplicado bajo los métodos internacionales estandarizados de la *Official Analytical Chemists Association* (AOAC 2005), AOAC 923.03 para determinar la ceniza, AOAC 920.87 para determinar la proteína, AOAC 920.85 para determinar la grasa, AOAC 925.1 para determinar la humedad y AOAC 985.29 para determinar la fibra.

1.4 EXTRACCIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LOS EXTRACTOS.

Con el material inactivo, seco y pasante por el tamiz # 80 (tamaño de partícula < 180 μ m) se realizó la extracción para cada uno de los diferentes puntos del diseño siguiendo la metodología descrita por Cadena y Herrera (Cadena y Herrera 2008) teniendo como volumen de control de trabajo 50 mL. Una vez realizado este proceso, los extractos fueron sometidos a separación de fases por medio de centrifugación (3500 rpm, 298,15 K durante 15 minutos), filtrados y concentrados mediante evaporación al vacío a 323,25 K y 200 mbar y finalmente, almacenados en viales de color ámbar (253,15 K) hasta su posterior uso.

1.5 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES (CPT).

A cada uno de los extractos obtenidos en la fase inmediatamente anterior se le determinó el CPT de acuerdo al procedimiento descrito por Wollgast y Anklam (Wollgast y Anklam 2000). En un equipo Multiskan Go, con uso de microplaca de 96 pozos. En un análisis regular, 50 μ L del extracto a valorar se mezclaron con 1,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu (10 % v/v), e incubados por 5 min bajo condiciones de

|

oscuridad. Luego se agregaron 1,5 mL de una solución de carbonato de sodio (7,5 % p/v) y la mezcla final se dejó en reposo durante 60 minutos. La absorbancia fue determinada a una longitud de onda de 765 nm, usando agua destilada como blanco. Finalmente, el CPT se determinó a través de una curva de calibración construida con ácido gálico como estándar (Anexo B), y los resultados expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo muestra seca (mg EAG/g ms).

1.6 DETERMINACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE EXTRACCIÓN.

Con ayuda del software STATGRAPHICS versión prueba, se determinó el punto óptimo de extracción para cada una de las batatas, teniendo como variable de respuesta el contenido de polifenoles totales cuantificados para cada punto del diseño de superficie de respuesta.

1.7 DETERMINACIÓN DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (CA) PARA EL PUNTO ÓPTIMO.

La determinación de la capacidad antioxidante de los extractos polifenólicos obtenidos a partir de la batata se determinó por medio de los ensayos de ABTS y DPPH.

1.7.1 Determinación de la capacidad antioxidante por DPPH. La capacidad antioxidante por el método DPPH se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Du y Li (Du y Li 2012), en un análisis regular se mezclan 100 μ L de Trolox® o 100 μ L del extracto a valorar, seguidamente se añadieron 3,9 mL de la solución del radical DPPH (en metanol) 60 μ M, la mezcla se deja en reposo protegida de la oscuridad y se mide la absorbancia a los 30 minutos a longitud de 515 nm. La curva de calibración se construyó con un estándar de Trolox® de 125-1000 μ M (Anexo C) y los resultados expresados como milimoles equivalentes de Trolox® por gramo de muestra seca (mM ET/g ms).

|

1.7.2 Medición de la capacidad antioxidante por el método de ABTS. La capacidad antioxidante por el método de ABTS se desarrolló de acuerdo al procedimiento descrito por Belščak *et al.* (Belščak *et al.* 2009). En un análisis regular, se mezclaron 30 μL de la solución a analizar o del patrón y se le añaden 3 mL de la solución etanólica de ABTS⁺, la solución se dejó en reposo por 6 minutos y la absorbancia se midió a una longitud de onda de 734 nm. La curva de calibración se construyó con un estándar de Trolox de 62,5-1000 μM (para mayor detalle, ver anexo D) y los resultados expresados como milimoles equivalentes de Trolox® por gramo de muestra seca (mM ET/g ms).

1.8 IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE FLAVONOIDES POR MEDIO DE CROMATOGRAFÍA LÍQUIDA DE ALTA EFICIENCIA HPLC.

El análisis cromatográfico de los extractos polifenólicos se desarrolló en un HPLC ultimate 3300, equipado con un sistema de auto inyección y detector UV-VIS, columna en fase reversa analítica (Zorbax Eclipse XDB 150 mm X 2.1 mm) con tamaño de partícula de 5 μm , a 313,15 K. Todos los compuestos se detectaron a una longitud de onda de 204 nm. La fase móvil consistió en agua/ácido fórmico (99,9/0,1 v/v) (solvente A) y acetonitrilo (solvente B), flujo de 0,2 mL/min. El gradiente fue el siguiente: 0-20 min, 6-10 % lineal de B; 20-30 min, 10-6 % lineal de B, seguido de 10 min de re-equilibrio de la columna antes de una nueva inyección y volumen de inyección de 20 μL .

La identificación de los metabolitos presentes en los extractos se llevó a cabo comparando sus tiempos de retención con los de sustancias de referencia certificadas. La cuantificación se realizó por el método de estándar externo usando curvas de calibración de las sustancias patrón (para mayor detalle, ver anexo E), y los resultados expresados en miligramos equivalentes de catequina por gramo de muestra seca (mg ECT /g ms).

1.9 VALIDACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE EXTRACCIÓN.

El grado de ajuste de los modelos de extracción se realizó evaluando los puntos óptimos calculados en el análisis estadístico de los experimentos, la concordancia entre los valores experimentales y los predichos por el modelo se calculó empleando la desviación relativa absoluta promedio (AARD), expresada en la ecuación 1:

$$AARD = \frac{100}{n} \sum \left(\frac{C_{experimental} - C_{calculado}}{C_{calculado}} \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde n es el número de datos, $C_{experimental}$ corresponde al valor experimental y $C_{calculado}$ al valor estimado por el modelo matemático.

1.10 CINÉTICA DE EXTRACCIÓN.

Con el fin de obtener un modelo matemático que describa la cantidad de polifenoles totales extraídos en un determinado tiempo se requiere de una serie de experimentos bajo las condiciones óptimas de extracción encontradas en la sección 2.6 (Determinación del punto óptimo de extracción).

El experimento consistió en realizar extracciones bajo las condiciones óptimas a diferentes intervalos de tiempo (0, 2, 4, 8, 12, 16, 24, 32, 48 y 64 minutos). Posteriormente las muestras se someten a centrifugación (3500 rpm durante 15 min a 298,15 K). Finalmente, el CPT se determinó empleando el reactivo de Folin-Ciocalteu siguiendo el procedimiento propuesto por Wollgast y Anklam (Wollgast y Anklam 2000) y descrito en la sección 2.5 y los resultados expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra seca (mg EAG/g ms).

1.11 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS CINÉTICOS A PARTIR DE DATOS EXPERIMENTALES Y EVALUACIÓN DEL MODELO.

En esta etapa se ajustaron los parámetros cinéticos para cada uno de los modelos propuestos. Finalmente se evaluó la bondad de ajuste de cada modelo por medio del coeficiente de regresión (R^2). En la tabla 3 se presentan los modelos cinéticos evaluados en este trabajo

Tabla 3. Modelos cinéticos evaluados.

Modelo	Ecuación	Parámetros
Page	$C_{(t)} = e^{k_1 t^n}$	k_1, n : constantes de Page
Peleg	$C_{(t)} = \frac{t}{k_2 + k_3 t}$	k_2 : relacionada con la velocidad de extracción k_3 : relacionada con la concentración máxima de polifenoles totales
Logarítmico	$C_{(t)} = a \log(t) + b$	a, b : constantes del modelo logarítmico
Pseudo primer orden	$C_{(t)} = C_{\infty} - \frac{C_{\infty}}{e^{k_5 t + d}}$	k_5, d : constantes del modelo pseudo primer orden

2 RESULTADOS Y ANÁLISIS

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DE BATATA.

En la tabla 4 se resumen los componentes cuantificados para las tres variedades de batata. Los valores obtenidos de humedad, ceniza, proteína, grasa y fibra, son similares a los reportados por Hernández *et al.* (Hernández *et al.* 2016) y Techeira *et al.* (Techeira *et al.* 2014), quienes caracterizaron batatas provenientes de España y Venezuela respectivamente, aunque los valores tienen un mayor acercamiento con los cuantificados por Techeira *et al.* (Techeira *et al.* 2014), esta semejanza puede atribuirse a la similitud de condiciones agronómicas y ambientales de las batatas provenientes de Venezuela y Colombia.

Tabla 4. Composición de las harinas de batata.

Componente	Este trabajo			Hernández Suárez <i>et al.</i> , 2016	Techeira <i>et al.</i> , 2014
	BB	BA	BN		
	Contenido (g/100g ms)*				
Humedad	6,21 ± 0,07 ^a	5,26 ± 0,06 ^b	6,51 ± 0,05 ^a	N.A	5,73 ± 0,06
Ceniza	2,19 ± 0,02 ^b	2,14 ± 0,03 ^b	2,78 ± 0,01 ^a	1,26 ± 0,27	3,10 ± 0,04
Proteína	7,14 ± 0,14 ^a	6,41 ± 0,01 ^b	6,42 ± 0,14 ^b	2,03 ± 0,59	8,81 ± 0,15
Grasa	1,42 ± 0,04 ^b	1,35 ± 0,02 ^b	3,04 ± 0,02 ^a	0,15 ± 0,07	0,50 ± 0,04
Fibra	4,00 ± 0,03 ^b	3,27 ± 0,02 ^c	5,51 ± 0,04 ^a	3,85 ± 0,72	7,62 ± 0,85
Carbohidratos	83,03 ± 0,1 ^b	84,84 ± 0,1 ^c	81,25 ± 0,2 ^a	N.A	81,86 ± 0,07
Valor calórico (kcal/100 g)	373,52 ^c	377,14 ^b	378,02 ^a	N.A	367,18

*Los resultados están expresados en términos de promedio y la desviación estándar n=2

Para cada fila los valores con la misma letra indican que no existe diferencias significativas (valor $p \leq 0,05$).

BB: Batata Blanca, BA: Batata Amarilla, BN: Batata Naranja.

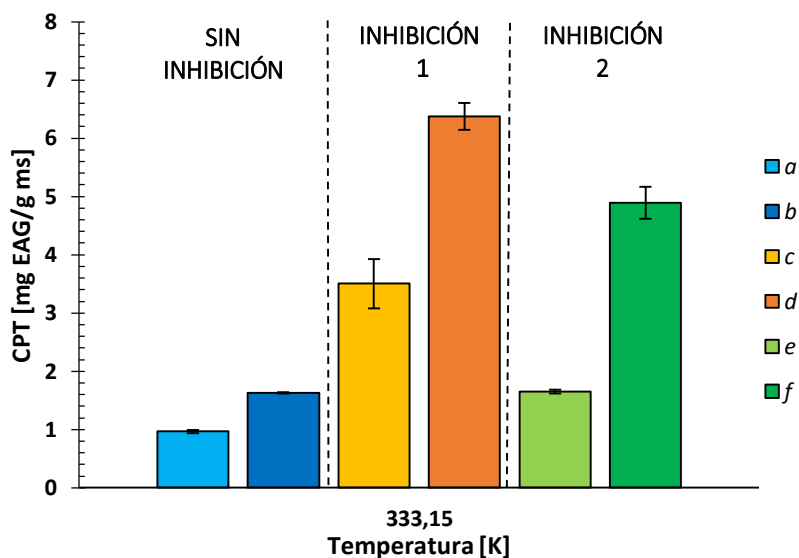
Como puede apreciarse en la tabla 4, los resultados mostraron bajos contenidos de lípidos, lo que facilita la migración de polifenoles hacia el solvente. Otra característica importante de resaltar del análisis bromatológico, es derivado de la humedad, ya que éste no supera los 6,5 %, este bajo porcentaje reduce en gran medida la degradación de los macronutrientes y micronutrientes presentes en el material, así mismo, evita el origen y proliferación de microorganismos patógenos.

2.2 INHIBICIÓN DE POLIFENOL OXIDASA (PPO) EN LA BATATA.

Con el fin de identificar el mejor método para inhibir la enzima polifenol oxidasa (PPO) presente en el material, se evaluaron dos métodos de inhibición con tratamiento térmico y agentes químicos inhibidores, y como variable de respuesta se usó el CPT; así mismo, en esta etapa se optó por hacer una prueba preliminar y poder identificar si la relación masa cargada para extracción (harina) y la cantidad de solvente (solvente) generaba efectos sobre el CPT.

Esta etapa se desarrolló bajo condiciones fijas de extracción para todos los casos, condiciones optimizadas para otras matrices de origen vegetal en el grupo de investigación (Carreño y Rojas 2014); temperatura de 333,15 K, relación etanol/agua 80/20 (v/v), pH natural, 15 minutos y agitación constante. Es imperativo mencionar que esta etapa se desarrolló con un material suministrado por investigadores de la Universidad Industrial de Santander y originario de la ciudad de Bucaramanga. En la figura 4 puede apreciarse los diferentes métodos de inhibición evaluados. Las barras *c* y *d* representan la inhibición con la mezcla de agentes (L-cisteína y ácido ascórbico), la diferencia en el CPT se debe a que la barra *c* tiene una relación harina/solvente (H/S) 1/12,5, mientras que la barra *d* una relación H/S 1/50. Por otro lado, la barras *e* y *f* representan la inhibición con un agente (ácido ascórbico), pero la barra *e* guarda relación H/S 1/12,5 y la barra *f* una relación H/S 1/50.

Figura 4. Evaluación del contenido de polifenoles totales extraíbles de la batata conforme el agente inhibidor y la relación harina/solvente varían a una relación etanol/agua (80/20). *a*: sin agente inhibidor y relación H/S 1/12,5. *b*: sin agente inhibidor y relación 1/50. *c*: Agente inhibidor L-cisteína: ácido ascórbico (35mM:35mM) y relación H/S 1/12,5. *d*: Agente inhibidor L-cisteína: ácido ascórbico (35mM:35mM) y relación H/S 1/50. *e*: Agente inhibidor ácido ascórbico (0,2% p/v) y relación H/S 1/12,5. *f*: Agente inhibidor ácido ascórbico (0,2%p/v) y relación H/S 1/50.



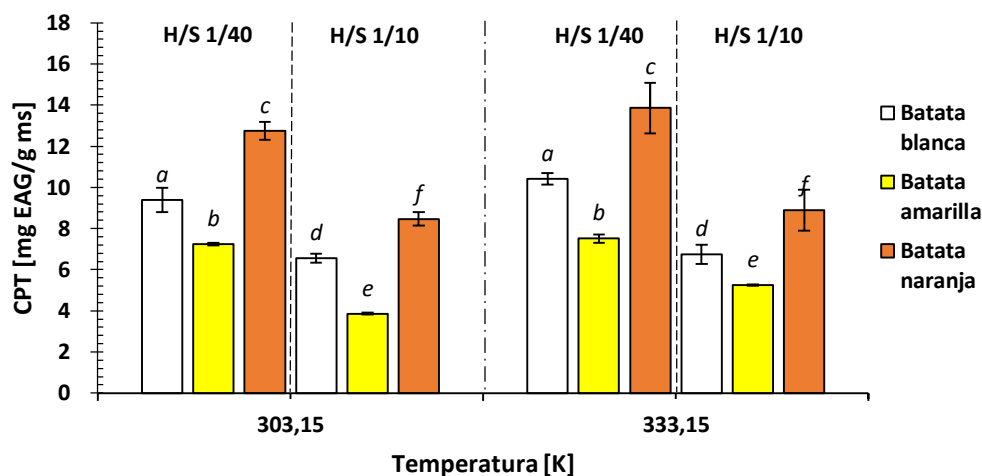
Con ayuda de la figura 4 se puede comparar el CPT extraídos con previa inhibición respecto a su valor sin inhibición, donde se puede concluir que la aplicación de métodos de inhibición favorece el CPT a obtener, así mismo, la figura 4 muestra que la mejor inhibición se logró para el tratamiento con la mezcla de agentes químicos, por lo cual para la siguiente etapa de la investigación se realizará la inhibición del material con L-cisteína y ácido ascórbico y tratamiento térmico. Además, se puede concluir que la relación H/S tiene influencia sobre el CPT, en la siguiente sección esta variable se estudiará más a fondo, ya que el alcance en esta etapa era seleccionar el método y el agente inhibidor de la polifenol oxidasa.

2.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA, RELACIÓN HARINA/SOLVENTE Y RELACIÓN ETANOL/AGUA SOBRE EL CONTENIDO DE POLIFENOLES TOTALES DE LOS EXTRACTOS.

En la figura 5 se muestran el CPT en función de la temperatura, relación harina/solvente (H/S) (p/v) a una relación etanol/agua (E/A) (75/25). Los colores de las barras indican el clon de batata que está representando (blanca, amarilla y

naranja), así mismo, las letras *a*, *b* y *c* representan una relación H/S (1/40) y las letras *d*, *e* y *f* a una relación H/S (1/10).

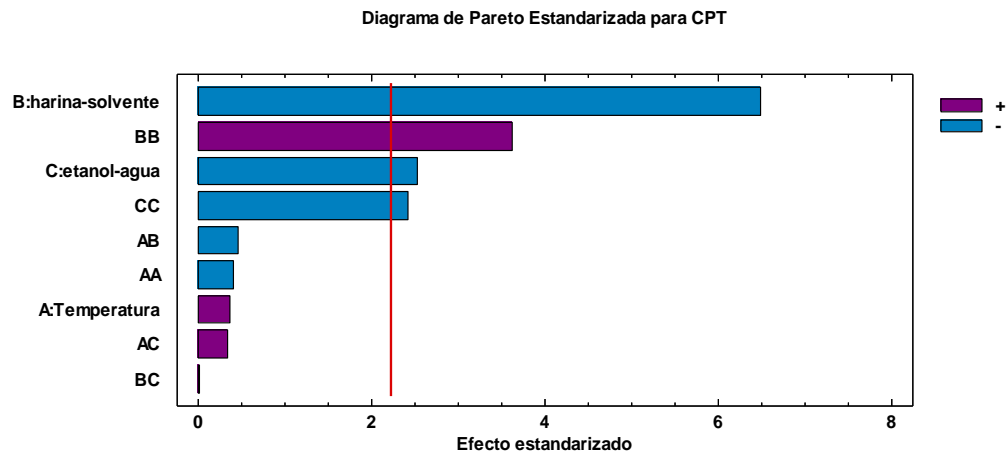
Figura 5. Evaluación del contenido de polifenoles totales extraíbles de la batata conforme varían la temperatura y relación harina/solvente (p/v) a una relación etanol/agua (75/25). *a*, *b* y *c* relación H/S 1/40 y *d*, *e* y *f* relación H/S 1/10.



Un análisis de la figura 5, permite inferir qué; i) el mayor CPT se dio para el clon de batata naranja, esto puede deberse a que el color del material está directamente relacionado con la cantidad de metabolitos secundarios (e.g. antocianinas y/o carotenoides) y ii) a medida que la relación H/S aumenta se favorece la extracción de polifenoles.

Con el fin de conocer con exactitud la influencia de las variables implicadas en el proceso, se realizó para cada clon de batata un análisis de varianza ANOVA (resumidos en el anexo G) y el diagrama de Pareto presentado en la figura 6 y los anexos H e I. Esta representación gráfica sugiere que el factor más influyente es la contribución lineal y cuadrática de la relación H/S, así mismo puede observarse que la relación E/A puede favorecer la obtención de extractos ricos en compuestos polifenólicos, aunque su efecto es menor cuando se compara con la contribución lineal y cuadrática de la relación H/S. Un comportamiento similar se logró observar para los tres materiales de batata.

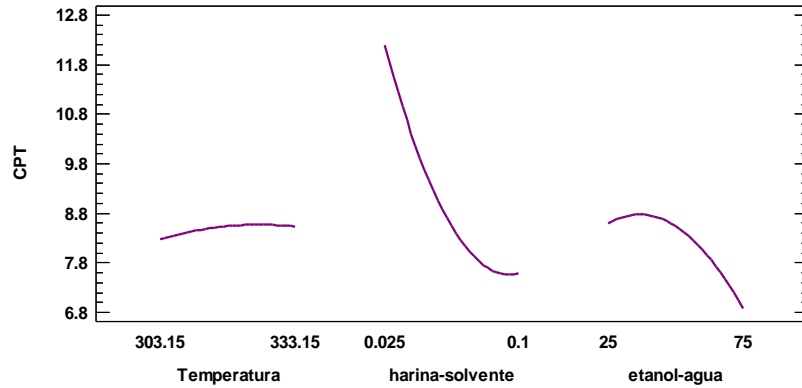
Figura 6. Diagrama Pareto de la batata blanca.



El análisis de efectos principales presentado en la figura 7 muestra el CPT al variar la temperatura, relación H/S y relación E/A para la batata blanca (los gráficos para los otros materiales se encuentran consignados anexo J y anexo K, todos los materiales presentaron una tendencia semejante). Como puede observarse en el perfil descrito en la figura 7, el mayor efecto lo genera la relación H/S, así mismo, puede apreciarse un punto de inflexión en la relación E/A en todos los casos en un intervalo central permitiendo reconocer que en relaciones intermedias es posible maximizar la extracción de polifenoles. Esta tendencia se asemeja a lo reportado por Farahmandazad *et al.* (Farahmandazad *et al.* 2012) quienes estudiaron las antocianinas presentes en la batata, además, en otras matrices vegetales se ha encontrado la misma tendencia al tener relaciones superiores al 50% se disminuye la cantidad de polifenoles extraíbles (GALVAN D'alessandro *et al.* 2012; Čujić *et al.* 2016).

Figura 7. Diagrama de efectos principales para la batata blanca.

Gráfica de Efectos Principales para CPT



En general los resultados obtenidos en este trabajo, son muy interesantes, ya que se identificó que el clon de batata naranja es el que tiene el contenido de polifenoles más alto (22,57 mg EAG/g ms). Así mismo, independiente del clon, los materiales aquí estudiados mostraron tener compuestos bioactivos, lo que puede impulsar la agroindustria en el aprovechamiento de este material que hasta la fecha se considera un desecho de exportación.

Además, se determinó con el uso de la herramienta estadística (Statgraphics) la función objetivo con la cual fue posible graficar las superficies de respuesta que representa el comportamiento de la variable dependiente (CPT) en función de las variables independientes (T, H/S y E/A). En la tabla 5 se consigna los valores de cada uno de los parámetros que constituyen la función.

Ecuación 2. Función objetivo aplicada para la determinación del contenido de polifenoles totales extraíbles del material de batata.

$$CPT \left[\frac{mg \ EAG}{g \ ms} \right] = \beta_0 + \beta_1(T) + \beta_2(HS) + \beta_3(EA) + \beta_4(T)^2 + \beta_5(T)(HS) + \beta_6(T)(EA) + \beta_7(HS)^2 + \beta_8(HS)(EA) + \beta_9(EA)^2$$

Tabla 5. Coeficientes de regresión estimados desde un modelo de cuadrático.

Constantes del polinomio	Batata		
	Blanca	Amarilla	Naranja
β_0	12,7726	10,876	14,7144
β_1	0,0647613	- 0,0156381	0,0190569
β_2	- 163,371	- 156,342	- 167,271
β_3	0,0742399	0,0835152	0,134374

β_4	- 0,000590663	- 0,0000709273	- 0,000191696
β_5	- 0,362689	0,272156	- 0,0934222
β_6	0,0003867	0,0004171	0,0003206
β_7	950,182	685,089	946,467
β_8	0,00593333	0,118147	- 0,36688
β_9	- 0,00125961	- 0,00127895	- 0,00153405

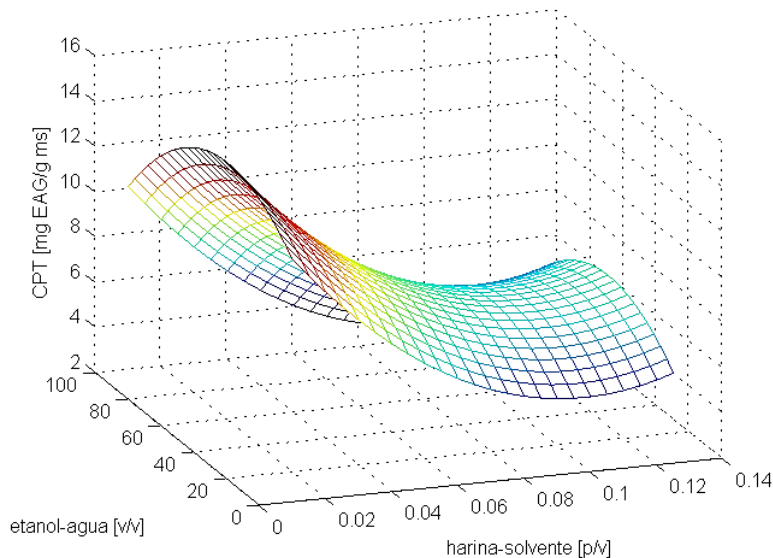
A su vez con ayuda del análisis ANOVA (Anexo G) se simplificó las funciones que representan las superficies de respuesta de cada uno de los materiales.

Tabla 6. Coeficientes de regresión con significancia (valor $p < 0,05$).

Constantes del polinomio	Batata		
	Blanca	Amarrilla	Naranja
β_0	12,7726	10,876	14,7144
β_2	- 163,371	- 156,342	- 167,271
β_7	950,182	685,089	946,467
β_3	0,0742399		
β_9	- 0,00125961	- 0,00127895	- 0,00153405
R - cuadrada	86,2553	88,9415	87,2160

Las funciones optimizadas permiten describir el comportamiento de los datos experimentales con grado de ajuste superior al 86% en todos los casos, como se puede apreciar en la tabla 6. El grado de ajuste de los modelos presentados en este trabajo está en el mismo orden de magnitud del reportado para otras matrices vegetales como la Berberis asiática (R^2 : 91%) reportado por Belwal *et al.* (Belwal *et al.* 2016), alboricoque (R^2 : 80,6%) (Wani *et al.* 2015). Empleando las funciones ajustadas se construyeron las superficies de respuesta; en la figura 8, se presenta la superficie de respuesta generada para el material de batata blanca, para los tres materiales mostraron una tendencia similar y las respectivas figuras pueden observarse en los anexos L y M.

Figura 8. Superficie de respuesta isotérmica (303,15 K) para el CPT en función de la relación H/S y relación E/A, del material de batata blanca.



Es posible notar en la figura 8 y los anexos L y M que el comportamiento de las superficies de respuesta obtenidas para cada uno de los materiales se aproxima a una tendencia hiperboloide o silla de montar, mostrando que la región donde se maximiza sus valores de CPT es en la parte central de la relación etanol/agua y de mayor proporción de solvente.

2.4 OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE EXTRACCIÓN DE POLIFENOLES.

Con los datos obtenidos en la etapa inmediatamente anterior (para mayor detalle ver anexo N), se prosiguió a optimizar las condiciones de extracción de los materiales de batata; como se puede apreciar en la tabla 7, las condiciones optimizadas de relación H/S y E/A de cada uno de los materiales sujetos a estudio mostraron un comportamiento similar entre ellas. Bajo las condiciones optimizadas y teniendo presente que la temperatura no es una variable que influya en el CPT se tomó una temperatura igual a 303,15 K ya que en este nivel es donde se requiere menos consumo energético en el proceso, se realizaron extracciones para verificar estos puntos empleando como criterio la *AARD* calculada para el CPT predicho por

los puntos óptimos y el valor experimental bajo las mismas condiciones. Los valores del CPT obtenidos en los puntos experimentales optimizados son mayores que los obtenidos teóricamente por las ecuaciones de optimización (Tabla 7). Así mismo, los valores AARD altos pueden atribuirse a que el punto teórico está sujeto a que las funciones lograron describir el comportamiento de los datos experimentales alrededor de 86%.

Tabla 7. AARD para las condiciones óptimas de extracción.

Variedad de batata	Condiciones Óptimas		CPT Teórico [mg EAG/g ms]	CPT Experimental [mg EAG/g ms]*	AARD [%]
	H/S [p/v]	E/A [v/v]			
Blanca	1/100	39,38	13,966	17,994 ± 0,147	22,379
Amarilla	1/100	35,98	10,772	15,452 ± 0,237	30,272
Naranja	1/100	49,61	16,693	22,573 ± 0,336	26,032

*Los resultados están expresados en términos de promedio y la desviación estándar n=2

Con el fin de obtener condiciones óptimas similares para los tres materiales, se evaluó el CPT obtenidos para los tres materiales empleando las condiciones optimizadas de la batata blanca (i.e. H/S 1/100 (p/v) y E/A 40/60 (v/v)); las cuales representan condiciones intermedias en el proceso de extracción optimizado. Las condiciones de las otras dos batatas se descartaron debido a su alto porcentaje de AARD lo cual implica una mayor desviación entre los valores experimental y teórico.

Como puede apreciarse en la tabla 8, a condiciones intermedias de extracción se disminuye el error predictivo de las funciones ajustadas, al tiempo que solo se sacrifica la recuperación de polifenoles en valores inferiores al 7,5 %(porcentaje de recuperación – Rec%).

Tabla 8. AARD respecto a las condiciones óptimas de extracción del clon de batata blanca.

Variedad de batata	CPT Teórico [mg EAG/g ms]	CPT* [mg EAG/g ms]	CPT** [mg EAG/g ms]	Rec [%]	AARD [%]
Blanca	13,966	17,994 ± 0,147	17,754 ± 0,140	1,334	21,336
Amarilla	10,772	15,452 ± 0,237	14,546 ± 0,185	5,863	25,945
Naranja	16,693	22,573 ± 0,336	20,887 ± 0,100	7,469	20,079

*CPT en condiciones óptimas propias

**CPT en condiciones óptimas de la batata blanca

Es importante mencionar que bajo el punto de experimental de máxima extracción para cada uno de los materiales se logró obtener un CPT de 20,89; 17,75 y 14,55 mg EAG/g ms para las batatas naranja, blanca y amarilla respectivamente. Al comparar estos resultados con otros materiales vegetales se evidencia que la batata tiene un CPT mayor que el oca ($1,4 \pm 0,22$ mg EAG/g ms) (Chirinos *et al.* 2009) y la col ($1,5 \pm 0,10$ mg EAG/g ms) (Kaulmann *et al.* 2014).

2.5 CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE LOS EXTRACTOS.

Se midió la actividad antioxidante de los extractos de cada una de las batatas en las condiciones intermedias de extracción usando una curva estándar de Trolox® para cada uno de los métodos aplicados (ABTS y DPPH). En la tabla 9, se puede apreciar que la actividad DPPH y ABTS de los materiales evaluados fue mayor al aumentar el CPT. Los resultados obtenidos tienen concordancia con los reportados por Zhu *et al.* (Zhu *et al.* 2010) quienes evaluaron batatas cultivadas en el continente asiático y mayores a los registrados por Padda y Picha (Padda y Picha 2008); Valcarcel *et al.* (Valcarcel *et al.* 2015) quienes estudiaron materiales comerciales y modificados de Estados Unidos.

Al compararlos con materiales vegetales similares fue posible encontrar que los valores obtenidos en este trabajo son 10 a 50 veces mayores a los del ñame (Kumar *et al.* 2016), 7 veces mayores al rábano (Goyeneche *et al.* 2015) y menores a los de la papa (Lachman *et al.* 2009).

Tabla 9. Capacidad antioxidante de los extractos de las harinas de batata por métodos ABTS y DPPH.

Referencia	Variedad de batata	CPT [mg EAG/ g ms]	ABTS [mmol ET/ 100 g ms]	DPPH [mmol ET/ 100 g ms]
Este estudio	Blanca	$17,754 \pm 0,140$	$3,55 \pm 0,16$	$10,06 \pm 0,52$
	Amarilla	$14,546 \pm 0,185$	$2,80 \pm 0,23$	$7,33 \pm 0,30$
	Naranja	$20,887 \pm 0,100$	$4,34 \pm 0,20$	$9,22 \pm 0,16$
Zhu	Morada	5,03 – 14,19	2,85 – 7,32	3,54 – 6,36
Padda	***	1,4 – 4,7**	N.A	0,40 – 1,84

Valcarcel	***	0,54 – 1,79	N.A	0,03 – 0,90
------------------	------------	-------------	-----	-------------

Los resultados están expresados en términos de promedio y la desviación estándar n=2

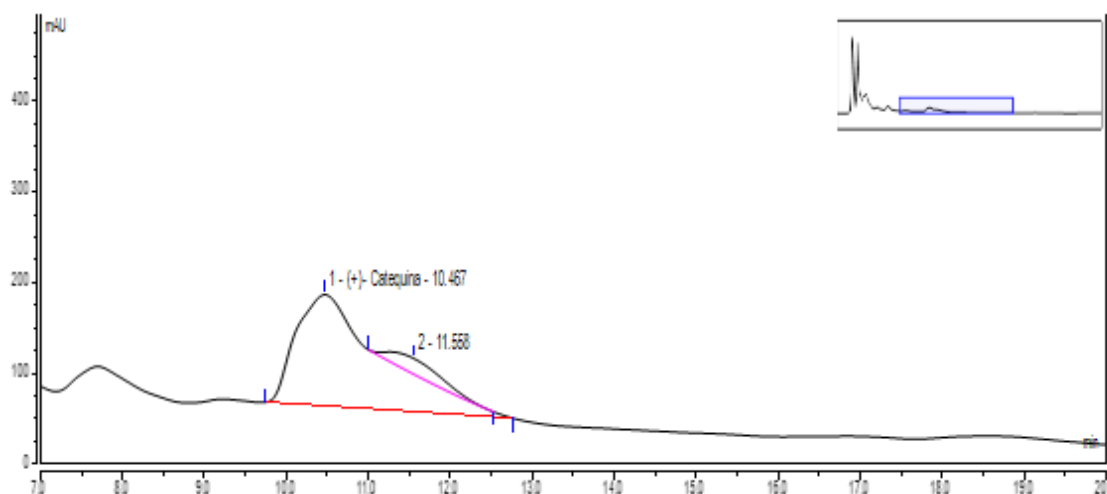
**Los resultados están expresados en término de equivalentes ácido clorogénico

***Diferentes materiales de batatas

2.6 IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE FLAVONOIDES PRESENTES EN LA BATATA.

En esta sección se presentan los resultados de la cuantificación del contenido de catequinas en las batatas amarilla, blanca y naranja. Los resultados hallados en esta etapa son muy interesantes, ya que hasta el momento no se encontraron reportes de identificación de catequinas en la batata, así mismo los datos obtenidos mostraron que en la batata, la catequina presente en mayor proporción es la (+)-catequina.

Figura 9. Cromatograma batata naranja.



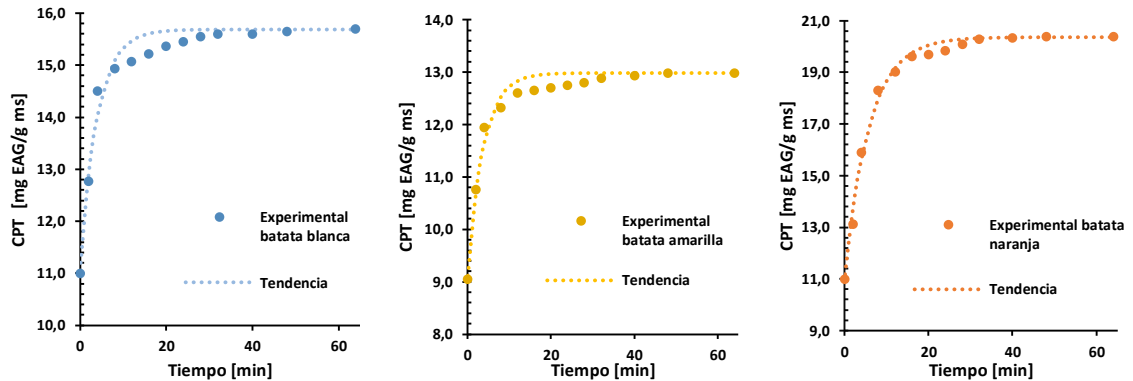
Nombre de pico	Tiempo de retención [min]	Área [mAU*min]	Altura [mAU]	Área relativa [%]
(+)- catequina	10,467	150,882	122,746	92,06

En la figura 9 se presenta el perfil cromatográfico típico para la batata naranja, donde la señal del pico identificado corresponde a la (+)-catequina, los cromatogramas para la batata amarilla y blanca se presentan en los anexos O y P. Los resultados obtenidos a partir del análisis de cromatografía líquida mostraron valores de catequinas de 0,389; 0,286 y 0,577 mg ECT/g ms para la batata blanca,

amarilla y naranja respectivamente, estos valores son menores que los hallados por Sierra y Peñaranda (Sierra y Peñaranda 2013) para el cacao que se encuentran entre 0,74 – 2,14 mg ECT/g ms, una de las matrices que presenta mayor cantidad de catequinas. Así mismo, los valores se encuentran en el intervalo encontrado para una matriz muy similar, como es el caso de la patata o papa, matriz a la cual se le cuantificó la cantidad de flavonoides totales por la *European Association for Potato* para el año 2015 reportando valores de 0,06 a 2,29 mg ECT/g ms.

2.7 CINÉTICA DE EXTRACCIÓN.

Figura 10. Curvas de extracción de polifenoles en los tres materiales de batata: blanca, amarilla y naranja a temperatura ambiente.



La figura 10 muestra los resultados obtenidos para la cinética de extracción de cada uno de los materiales evaluados, a una temperatura de 303,15 K (nivel bajo del diseño evaluado) y relaciones de harina/solvente y entre solventes de 1/100 y 40/60, respectivamente. Se puede observar que los materiales de batata evaluados tienen una tendencia logarítmica característica de este tipo de procesos. A su vez que el tiempo de estabilización es aproximadamente de 40 min; es un proceso rápido comparado a los tiempos de extracción reportados de 60 min para orujo de uva (Sant'Anna *et al.* 2012), 90 min para la manzanilla (Jurinjak Tušek *et al.* 2016) y 200 min en el cornijuelo (Galvan D'alessandro *et al.* 2012).

En la tabla 10 se consigna los parámetros y el coeficiente de correlación para cada uno de los modelos evaluados en esta etapa.

Tabla 10. Parámetros cinéticos de los modelos ajustados.

MODELOS CINÉTICOS		VARIEDAD DE BATATA		
		BLANCA	AMARILLA	NARANJA
Page	k_1	2,5820	2,4007	2,6477
	n	0,0175	0,0179	0,0359
	R^2	0,808	0,835	0,826
Peleg	k_2	0,0280	0,0317	0,0575
	k_3	0,0634	0,0767	0,0478
	R^2	0,979	0,989	0,997
Logarítmico	a	0,7220	0,5678	2,0202
	b	13,0593	10,9077	13,1586
	R^2	0,830	0,856	0,878
Pseudo primer orden	k_5	0,2533	0,2694	0,1698
	d	1,2183	1,2109	0,7627
	R^2	0,965	0,972	0,992

Se llevó a cabo la evaluación de los modelos cinéticos que mejor ajuste presentan en el proceso de extracción de polifenoles a partir de la batata, en la tabla 10 puede apreciarse que los materiales de batata se ajustaron al modelo Peleg evaluado por medio del coeficiente de correlación, indicando que fue el que mejor representa el comportamiento cinético de las batatas naranja, amarilla y blanca respectivamente con R^2 de 99,7%; 98,9% y 97,9% en su orden.

Sin embargo, se observa que el modelo Pseudo primer orden presenta un coeficiente de correlación alto para todos los casos ($R^2 > 96,5\%$), lo cual implica una buena concordancia entre los datos experimentales y teóricos que solo se desvía del modelo Peleg en alrededor del 1%. Es decir, que ambos modelos describen sobresaliente el proceso, lo cual también se ha encontrado en otras matrices como lo reporta Sant'Anna *et al.* (Sant'Anna *et al.* 2012) con la extracción de polifenoles del orujo de uva.

Además, en la tabla 11 se compara el CPT extraíbles según la metodología del diseño experimental (con renovación de solvente (CRS)) y los obtenidos en la

cinética (sin renovación del solvente (SRS), valores de la prueba en el anexo Q) donde se aprecia que las pérdidas son inferiores al 12%.

Tabla 11. Comparación de métodos de extracción.

Variedad de batata	CPT, (CRS) [mg EAG/g ms]	CPT, (SRS) [mg EAG/g ms]	Recuperación [%]
Blanca	17,754 ± 0,140	15,690	88,37
Amarilla	14,546 ± 0,185	12,980	89,23
Naranja	20,887 ± 0,100	20,362	97,48

Los resultados están expresados en términos de promedio y la desviación estándar n=2

3 CONCLUSIONES

En el rango de temperatura evaluado no tiene una influencia significativa sobre la cantidad de polifenoles extraídos, lo cual representa una ventaja en la reducción de costo energético, además la renovación del solvente es innecesaria porque el CPT obtenidos sin renovar el solvente es superior al 88%, las condiciones optimizadas de extracción son: relación H/S: 1/100 (p/v) y relación E/A: 40/60. En condiciones óptimas es posible obtener extractos con concentración de polifenoles que varían entre 17,75 y 20,89 mg EAG/g ms dependiendo del material evaluado.

En lo que refiere al ajuste de parámetros cinéticos fue posible ajustar el proceso al modelo Peleg con un grado de ajuste superior al 97,9%, este trabajo enriquece las bases de datos de evaluación cinética de extracción de polifenoles a partir de materias primas de carácter vegetal. Permitiendo que estos valores sean utilizados en futuros estudios de simulación de diseño de procesos que buscan valorización del fruto de rechazo a través de la producción de extractos polifenólicos.

Se identificó que el mejor método de inhibición de la PPO es donde se usa de dos agentes reductores: ácido ascórbico y L-cisteína.

Es importante resaltar que este trabajo aporta información sobre la identificación de catequinas ((+)-catequina) en la batata, ya que bajo nuestro conocimiento no hay datos en esta área.

4 RECOMENDACIONES

Evaluar variables adicionales en la extracción de polifenoles como pH y tamaño de partícula que permitan aumentar el ajuste de los modelos polinómicos que representan la extracción de compuestos polifenólicos de la matriz, a su vez que den una extracción mayor de los compuestos de interés partiendo de los valores optimizados en esta investigación.

Realizar comparación con el clon morado que se infiere puede atribuir un mayor contenido de polifenoles respecto a los materiales evaluados en este trabajo, el cual no fue posible adquirir de lado de los materiales recibidos a Corpoica al no cumplir con el prerrequisito de origen de la misma zona para una comparación más objetiva.

BIBLIOGRAFÍA

AMENDOLA, D., DE FAVERI, D.M., SPIGNO, G. Grape Marc Phenolics: Extraction Kinetics, Quality and Stability of Extracts. *Journal of Food Engineering*, 2010. Vol. 97, p. 384–392, ISSN 02608774.

AOAC, 2005, Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, (18 th Ed).

HORWITZ, William. Official Methods of Analytical Chemists. ISBN 0-935584-77-3

WOLLGAST, Jan, y ANKLAM, Elke. Review on polyphenols in Theobroma cacao: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International*, 2000. Vol. 33, p. 423–447.

ARABSHAHI-D, Saeedeh, VISHALAKSHI DEVI, D., UROOJ, Asna. Evaluation of Antioxidant Activity of Some Plant Extracts and Their Heat, pH and Storage Stability. *Food Chemistry*, 2007. Vol. 100, p. 1100–1105, ISSN 03088146.

BELŠČAK, Ana, KOMES, Drazenka, HORZIC Dunja, KOVACEVIC Karin, KARLOVIC Damir. Comparative Study of Commercially Available Cocoa Products in Terms of Their Bioactive Composition. *Food Research International*, 2009. Vol. 42, p. 707–716, ISSN 09639969.

BELWAL, Tarun, DHYANI, Praveen, BHATT, Indra D, SINGH, Ranbeer, PANDE, Veena. Optimization Extraction Conditions for Improving Phenolic Content and Antioxidant Activity in Berberis Asiatica Fruits Using Response Surface Methodology (RSM). *Food Chemistry*, 2016. Vol. 207, p. 115–124, ISSN 03088146.

BUCIĆ-KOJIĆ, Ana, PLANINIĆ, Mirela, TOMAS, Srećko, BILIĆ, Mate, VELIC Darko. Study of Solid–liquid Extraction Kinetics of Total Polyphenols from Grape Seeds. *Journal of Food Engineering*, 2007. Vol. 81, p. 236–242, ISSN 02608774.

CADENA, Tatiana y HERRERA, Yenny Marcela. Evaluación del efecto del procesamiento del cacao sobre el contenido de polifenoles y su actividad

|

antioxidante. Trabajo de grado (Químico). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, 2008, 91h.

ÇAM, Mustafa, y HISIL, Yaşar. Pressurised Water Extraction of Polyphenols from Pomegranate Peels. *Food Chemistry*, 2010. Vol.123, p. 878–885, 03088146.

CARLSEN, Monica H, HALVORSEN, Bente L, HOLTE, Kari, BØHN, Siv K, DRAGLAND, Steinar, SAMPSON, Laura, WILLEY, Carol, SENOO, Haruki, UMEZONO, Yuko, SANADA, Chiho, BARIKMO, Ingrid, BERHE, Nega, WILLETT, Walter C, PHILLIPS, Katherine M, JACOBSJR, David R, BLOMHOFF, Rune. The total antioxidant content of more than 3100 foods, beverages, spices, herbs and supplements used worldwide. *Nutrition journal*, 2010. Vol. 9, p. 1–11.

CARREÑO, Oscar Javier, y ROJAS, Larry Yair. Determinación de parámetros cinéticos de la extracción de polifenoles totales a partir de la cáscara de cacao. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, 2014, 65h.

CAZZOLA, Martina, CORAZZARI, Ingrid, PRENESTI, Enrico, BERTONE, Elisa, VERNÈ, Enrica, FERRARIS, Sara. Bioactive Glass Coupling with Natural Polyphenols: Surface Modification, Bioactivity and Anti-Oxidant Ability. *Applied Surface Science*, 2016. Vol. 367, p. 237–248, ISSN 01694332.

CHEN, T.-Y., LIN, B.-C., SHIAO M.-S., PAN B.-S. Lipid-Lowering and LDL-Oxidation Inhibitory Effects of Aqueous Extract of Freshwater Clam (*Corbicula Fluminea*)-Using Tilapia As an Animal Model. *Journal of Food Science*, 2008. Vol. 73, p. 148–154, ISSN 00221147, 17503841.

CHIRINOS, Rosana, BETALLELUZ-PALLARDEL, Indira, HUAMÁN, Anabel, ARBIZU, Carlos, PEDRESCHI, Romina, CAMPOS David. HPLC-DAD Characterisation of Phenolic Compounds from Andean Oca (*Oxalis Tuberosa* Mol.)

|

Tubers and Their Contribution to the Antioxidant Capacity. *Food Chemistry*, 2009. Vol. 113, p. 1243–1251, ISSN 03088146.

CHIRINOS, Rosana, CHIRINOS, Rosana, ROGEZ, Hervé, CAMPOS, David. Optimization of Extraction Conditions of Antioxidant Phenolic Compounds from Mashua (*Tropaeolum Tuberosum* Ruíz & Pavón) Tubers. *Separation and Purification Technology*, 2007. Vol. 55, p. 217–225, ISSN 13835866.

ĆUJIĆ, Nada, ŠAVIKIN, Katarina, JANKOVIĆ, Teodora, PLJEVLJAKUŠIĆ, Dejan, ZDUNIĆ, Gordana, IBRIĆ, Svetlana. Optimization of Polyphenols Extraction from Dried Chokeberry Using Maceration as Traditional Technique. *Food Chemistry*, 2016. Vol. 194, p. 135–142, ISSN 03088146.

CUSUMANO, C. O., y ZAMUDIO, Néstor. Manual Técnico para el Cultivo de Batata (Camote o Boniato) en la provincia de Tucumán (Argentina), Tucumán, República de Argentina: *Ediciones INTA*, 2013. ISBN 978-987-679-134-2.

DU, Guanhua, SUN, L, ZHAO, R, DU, L, SONG, J, ZHANG, L, HE, G, ZHANG, Y, ZHANG, J. Polyphenols: Potential Source of Drugs for the Treatment of Ischaemic Heart Disease. *Pharmacology & Therapeutics*, 2016. Vol. 162, p. 23–34, ISSN 01637258.

DU, Qizhen, y LI, Bo. Identification of Antioxidant Compounds of *Mucuna Sempervirens* by High-Speed Counter-Current Chromatographic separation–DPPH Radical Scavenging Detection and Their Oestrogenic Activity. *Food Chemistry*, 2012. Vol. 131, p. 1181–1186, ISSN 03088146.

DURLING, Nicola E, CATCHPOLE, Owen J, GREY, John B, WEBBY, Rosemary F MITCHELL, Kevin A, FOO, Yeap, PERRY, Nigel B. Extraction of Phenolics and Essential Oil from Dried Sage (*Salvia Officinalis*) Using Ethanol–water Mixtures. *Food Chemistry*, 2007. Vol. 101, p. 1417–1424, ISSN 03088146.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015. *FAO Statistical Pocketbook 2015 World Food and Agriculture*.

FARAHMANDAZAD, Hengameh. Recovery and purification of anthocyanins from purple-blue potato. Tesis de maestría (Procesos de ingeniería). Lappeenranta: Universidad Politécnica de Lappeenranta, 2015, 81h.

Disponible en: <http://www.doria.fi/handle/10024/117192>.

FARÍAS-CAMPOMANES, Angela M., ROSTAGNO, Mauricio A. y MEIRELES, M. Angela A. Production of Polyphenol Extracts from Grape Bagasse Using Supercritical Fluids: Yield, Extract Composition and Economic Evaluation. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2013. Vol. 77, p. 70–78, ISSN 08968446.

FU, Zhi-feng, TU, Zong-cai, ZHANG, Lu, WANG, Hui, WEN, Qing-hui, HUANG, Tao. Antioxidant Activities and Polyphenols of Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* L.) Leaves Extracted with Solvents of Various Polarities. *Food Bioscience*. 2016. Vol. 15, p. 11–18, ISSN 22124292.

GALVAN D'ALESSANDRO, Leandro, KRIAA, Karim, NIKOV, Jordan, DIMITROV, Krasimir. Ultrasound Assisted Extraction of Polyphenols from Black Chokeberry. *Separation and Purification Technology*, 2012. Vol. 93, p. 42–47, ISSN 13835866.

GIÃO, Maria S, PEREIRA, Cláudia I, FONSECA, Susana C, PINTADO, Manuela E, MALCATA, Xavier. Effect of Particle Size upon the Extent of Extraction of Antioxidant Power from the Plants Agrimonia Eupatoria, Salvia Sp. and Satureja Montana. *Food Chemistry*, 2009. Vol. 117, p. 412–416, ISSN 03088146.

GODOY, Jhair Enrique. Condiciones favorables de inactivación de la enzima polifenol oxidasa, extracción de polifenoles y ajuste de parámetros cinéticos.

|

Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, 2015, 70h.

GRACE, Mary H, YOUSEF, G, GUSTAFSON, S, TRUONG, V, YENCHO, G, LILA, M. Phytochemical Changes in Phenolics, Anthocyanins, Ascorbic Acid, and Carotenoids Associated with Sweetpotato Storage and Impacts on Bioactive Properties. *Food Chemistry*, 2014. Vol. 145, p. 717–724, ISSN 03088146.

GRANZOTTO, ALBERTO, y ZATTA Paolo. Resveratrol and Alzheimer's disease: message in a bottle on red wine and cognition. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 2014. Vol. 6, p. 1–7, ISSN 1663-4365.

GOYENECHÉ, Rosario, ROURA, Sara, PONCE, Alejandra, VEGA-GÁLVEZ, Antonio, QUISPE-FUENTES, Issis, URIBE, Elsa, DI SCALA, Karina. Chemical Characterization and Antioxidant Capacity of Red Radish (*Raphanus Sativus* L.) Leaves and Roots. *Journal of Functional Foods*, 2015. Vol. 16, p. 256–264, ISSN 17564646.

HERNÁNDEZ, Marcos, MONTES, Adriana I, RODRÍGUEZ, Beatriz, HERNÁNDEZ, Lía, MEDINA, Cristo E, RÍOS, Domingo, RODRÍGUEZ, Elena M. Application of Multidimensional Scaling Technique to Differentiate Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* (L.) Lam) Cultivars according to Their Chemical Composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2016. Vol. 46, p. 43–49, ISSN 08891575.

ISHIDA, Hiroshi, SUZUNO, Hiroko, SUGIYAMA, Noriko, INNAMI, Satoshi, TADOKORO, Tadahiro, MAEKAWA, Akio. Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* pair). *Food Chemistry*, 2000. Vol. 68, p. 359–367.

JURINJAK TUŠEK, Ana, BENKOVIĆ, Maja, BELŠČAK CVITANOVIĆ, Ana, VALINGER, Davor, JURINA, Tamara, GAJDOŠ KLJUSURIĆ, Jasenka. Kinetics and Thermodynamics of the Solid-Liquid Extraction Process of Total Polyphenols, Antioxidants and Extraction Yield from Asteraceae Plants. *Industrial Crops and Products*, 2016. Vol. 91, p. 205–214, ISSN 0926669.

KAISER, Samuel, GASPARIN, Simone, COUGO, Renata, PITTOL, Vanessa, CONDORI, Evelyn, PAVEI, Cabral, GONZÁLEZ, George. Extraction Optimization of Polyphenols, Oxindole Alkaloids and Quinovic Acid Glycosides from Cat's Claw Bark by Box–Behnken Design. *Industrial Crops and Products*, 2013. Vol. 48, p. 153–161, ISSN 09266690.

KALLOO, G., y BERGH, B. O. *Genetic Improvement of Vegetable Crops*. Nueva York, Estados Unidos: Pergamon Press, 1993. ISBN: 978-0-08-040826-2.

KAULMANN, Anouk, JONVILLE, M, SCHNEIDER, Y, HOFFMANN, L, BOHN, T. Carotenoids, Polyphenols and Micronutrient Profiles of Brassica Oleraceae and Plum Varieties and Their Contribution to Measures of Total Antioxidant Capacity. *Food Chemistry*, 2014. Vol. 155, p. 240–250, ISSN 03088146.

KUMAR, Anuj, RAMAKUMAR, Pola, PATEL, Ashok, KUMAR SINGH, Ashish. Influence of Drying Temperature on Physico-Chemical and Techno-Functional Attributes of Elephant Foot Yam (*Amorphophallus Paeoniifolius*) Var. Gajendra. *Food Bioscience*, 2016. Vol. 16, p. 11–16, ISSN 22124292.

LACHMAN, Jaromír, HAMOUZ, Karel, ŠULC, Miloslav, ORSÁK, Matyáš, PIVEC, Vladimír, HEJTMÁNKOVÁ, Alena, DVOŘÁK, Petr, ČEPL, Jaroslav. Cultivar Differences of Total Anthocyanins and Anthocyanidins in Red and Purple-Fleshed Potatoes and Their Relation to Antioxidant Activity. *Food Chemistry*, 2009. Vol. 114, p. 836–843, ISSN 03088146.

|

LANG, Qingyong, y WAI, Chien M. Supercritical fluid extraction in herbal and natural product studies—a practical review. *Talanta*, 2001. Vol. 53, p. 771–782.

LAREO, Claudia, FERRARI, M, GUIGOU, M, FAJARDO, L, LARNAUDIE, V, RAMÍREZ, M, MARTÍNEZ-GARREIRO, J. Evaluation of sweet potato for fuel bioethanol production: hydrolysis and fermentation. *SpringerPlus*. 2013. Vol. 2, p. 1–11.

LEBOT, V., MICHALET S., y LEGENDRE, L. Identification and Quantification of Phenolic Compounds Responsible for the Antioxidant Activity of Sweet Potatoes with Different Flesh Colours Using High Performance Thin Layer Chromatography (HPTLC)”. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2016. Vol. 49, p. 94–101, ISSN 08891575.

LI, B.B., SMITH, B. y HOSSAIN, Md. M. Extraction of Phenolics from Citrus Peels. *Separation and Purification Technology*, 2006. Vol. 48, p. 182–188, ISSN 13835866.

MAKRIS, Dimitris P. Optimisation of Anthocyanin Recovery from Onion (*Allium Cepa*) Solid Wastes Using Response Surface Methology. *Journal of Food Technology*, 2010. Vol. 4, p. 183–186, ISSN 1684-8462.

MANOHAN, Deepaa, y WAI, Wong Chen. Characterization of polyphenol oxidase in sweet potato (*Ipomoea Batatas* (L.)). *Journal for the Advancement of Science and Arts*, 2012. Vol. 3, p. 14–30.

Disponibile en: <http://www.ucsiuniversity.edu.my/cervie/pdf/ijasa/paperV3N1-2.pdf>

MARTÍ, H. R., CORBINO, G. B., y CHLUDIL, H. D. La batata: el redescubrimiento de un cultivo. *Ciencia Hoy*. 2011. Vol. 21, p. 17–23.

|

PADDA, Malkeet S., y PICHA, David H. Quantification of Phenolic Acids and Antioxidant Activity in Sweetpotato Genotypes. *Scientia Horticulturae*, 2008. Vol. 119, p. 17–20, ISSN 03044238.

PRIEGO-CAPOTE, F., RUIZ-JIMÉNEZ, J., y LUQUE DE CASTRO, M.D. Fast Separation and Determination of Phenolic Compounds by Capillary Electrophoresis–diode Array Detection. *Journal of Chromatography A*, 2004. Vol. 1045, p. 239–246, ISSN 00219673.

PROCOLOMBIA. (Octubre de 2016). Análisis de las exportaciones colombianas: informe enero – octubre de 2016.

Disponible en: <http://www.procolombia.co/publicaciones/informe-turismo-inversion-y-exportaciones>

PULIDO, Raquel; BRAVO, Laura y SAURA-CALIXTO, Fulgencio. Antioxidant Activity of Dietary Polyphenols As Determined by a Modified Ferric Reducing/Antioxidant Power Assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000. Vol. 48, p. 3396–3402, ISSN 0021-8561, 1520-5118.

SHEKHAR, Shubhendu, MISHRA, D, BURAGOHAJ, A, CHAKRABORTY, S, CHAKRABORTY, N. Comparative Analysis of Phytochemicals and Nutrient Availability in Two Contrasting Cultivars of Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* L.). *Food Chemistry*. 2015. Vol. 173, p. 957–965, ISSN 03088146.

RODRÍGUEZ, Gisselle Paola. Caracterización de variedades de batata (*ipomoea batata*) con el fin de desarrollar un puré que sea fuente para la elaboración de productos preformados en McCain Colombia. Trabajo de grado (Ingeniero de Alimentos). Bogotá D.C: Universidad de la Salle, 2008, 147h. Disponible en: <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/15876>.

|

RUSAK, Gordana, KOMES, Draženka, LIKIĆ, Saša, HORŽIĆ, Dunja, KOVAČ, Maja. Phenolic Content and Antioxidative Capacity of Green and White Tea Extracts Depending on Extraction Conditions and the Solvent Used. *Food Chemistry*, 2008. Vol. 110, p. 852–858, ISSN 03088146.

SANT'ANNA, Voltaire, BRANDELLI, Adriano, FERREIRA, Ligia D, TESSARO, Isabel C. Kinetic Modeling of Total Polyphenol Extraction from Grape Marc and Characterization of the Extracts. *Separation and Purification Technology*, 2012. Vol. 100, p. 82–87, ISSN 13835866.

SIERRA, Lady Johana, y PEÑARANDA, Jerson Duvan. Evaluación de la actividad antioxidante, contenido de polifenoles y metilxantinas en materiales de cacao colombianos. Trabajo de grado (Químico). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, 2013, 114h.

SUN, Hongnan, MU, Taihua, XI, Lisha, ZHANG, Miao, CHEN, Jingwang. Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* L.) Leaves as Nutritional and Functional Foods. *Food Chemistry*, 2014. Vol. 156, p. 380–389, ISSN 03088146.

TALAPATRA, Sunil Kumar, y TALAPATRA, Bani. *Chemistry of Plant Natural Products*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. ISBN 978-3-642-45409-7 978-3-642-45410-3.

TANAKA, Yoshiyuki y URITANI, Ikuzo. Polarity of production of polyphenols and development of various enzyme activities in cut-injured sweet potato root tissue. *Plant physiology*, 1977. Vol. 60, p. 563–566.

Disponible en: <http://www.plantphysiol.org/content/60/4/563.short>

TANG, Yayuan; CAI, Weixi y XU, Baojun. Profiles of Phenolics, Carotenoids and Antioxidative Capacities of Thermal Processed White, Yellow, Orange and Purple Sweet Potatoes Grown in Guilin, China. *Food Science and Human Wellness*. 2015. Vol. 4, p. 123–132, ISSN 22134530.

TECHEIRA, Nora, SÍVOLI, Lilliam, PERDOMO, Brunilda, RAMÍREZ, Alejandra, SOSA, Francisca. Caracterización fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), batata (*Ipomoea batatas* Lam) y ñame (*Dioscorea alata*), cultivadas en Venezuela. *Interciencia*, 2014. Vol. 39, p. 191-197.

VALCARCEL, Jesus, REILLY, Kim, GAFFNEY, Michael, O'BRIEN, Nora M. Antioxidant Activity, Total Phenolic and Total Flavonoid Content in Sixty Varieties of Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Grown in Ireland. *Potato Research*, 2015, 58 (3), 221–244, ISSN 0014-3065, 1871-4528.

WANI, S.M., JAN, Nusrat, WANI, Touseef, AHMAD, Mukhtar, MASOODI, F.A. GANI, Adil. Optimization of Antioxidant Activity and Total Polyphenols of Dried Apricot Fruit Extracts (*Prunus Armeniaca* L.) Using Response Surface Methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 2015. p 1–8, ISSN 1658077X.

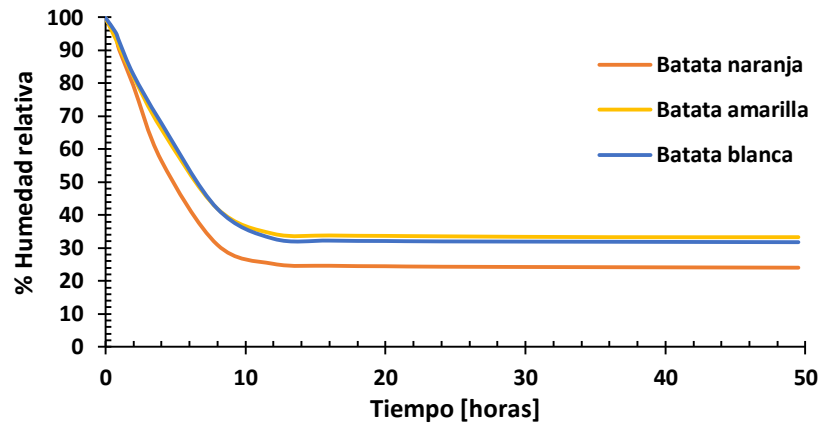
WU, Youmei, WANG, J, CAI, W, SHEN, X. Could Tea Polyphenols Be Beneficial for Preventing the Precocious Puberty? *Medical Hypotheses*, 2016. Vol. 95, p. 24–26, ISSN 03069877.

ZHU, Fan, CAI, Yi-Zhong, YANG, Xinsun, KE, Jinxia, CORKE, Harold. Anthocyanins, Hydroxycinnamic Acid Derivatives, and Antioxidant Activity in Roots of Different Chinese Purple-Fleshed Sweetpotato Genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010. Vol. 58, p. 7588–7596, ISSN 0021-8561, 1520-5118.

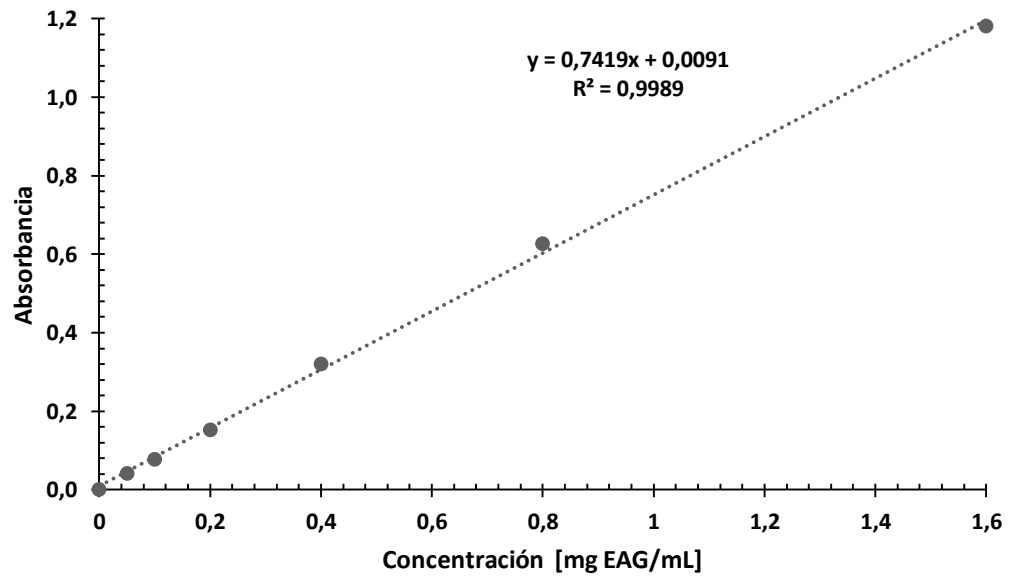
|

ANEXOS.

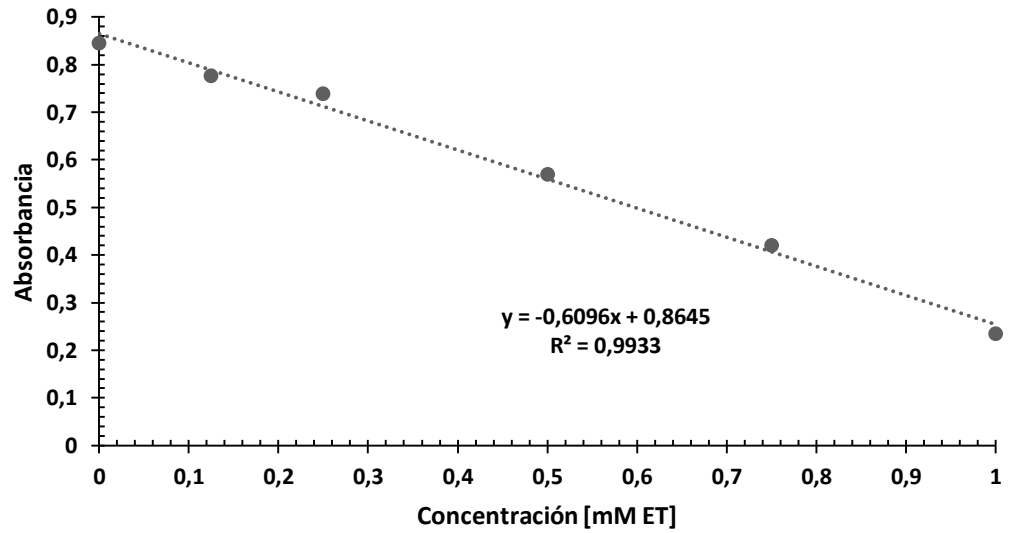
ANEXO A. Curva de secado de los tres materiales de batata.



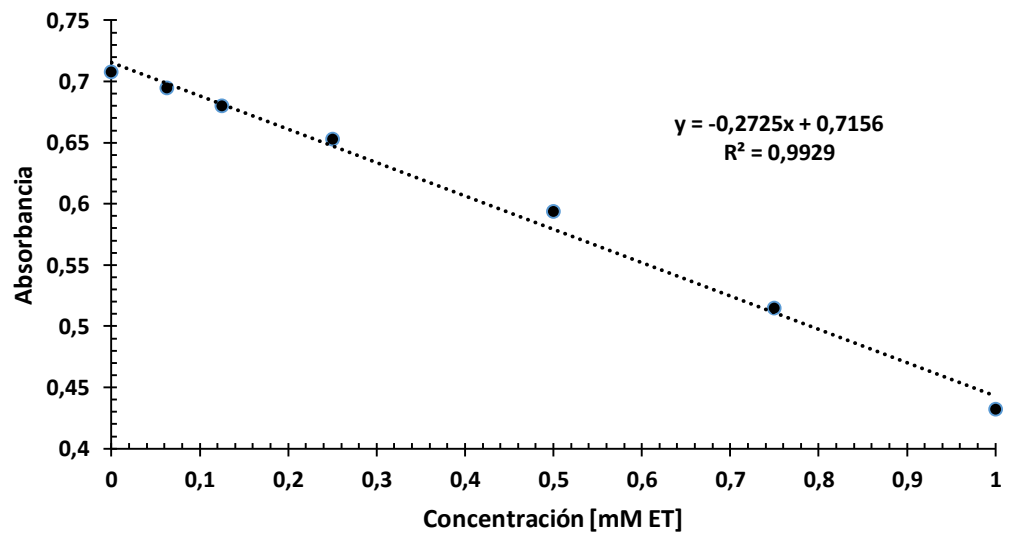
ANEXO B. Curva de calibración del ácido gálico.



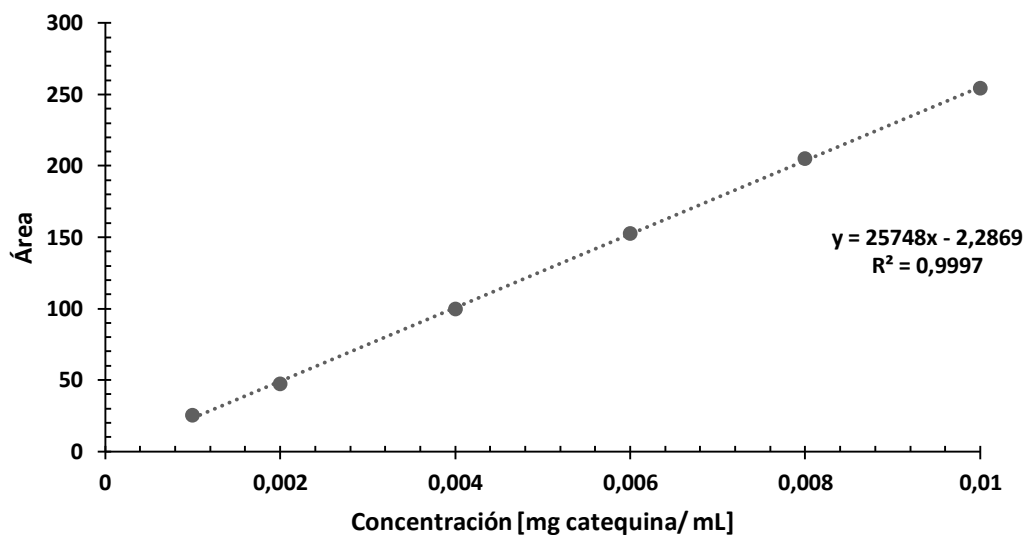
ANEXO C. Curva de calibración DPPH.



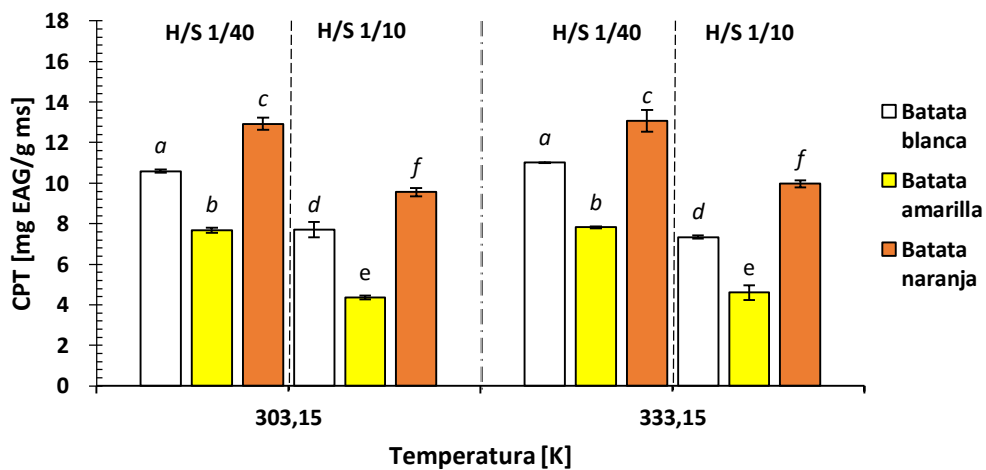
ANEXO D. Curva de calibración ABTS.



ANEXO E. Curva de calibración de la (+)-catequina.



ANEXO F. Evaluación del contenido de polifenoles totales extraíbles de la batata conforme varían la temperatura y relación harina/solvente (p/v) a una relación etanol/agua (25/75). *a, b y c* relación H/S 1/40 y *d, e y f* relación H/S 1/10.



ANEXO G. Análisis ANOVA de los tres materiales de batata.

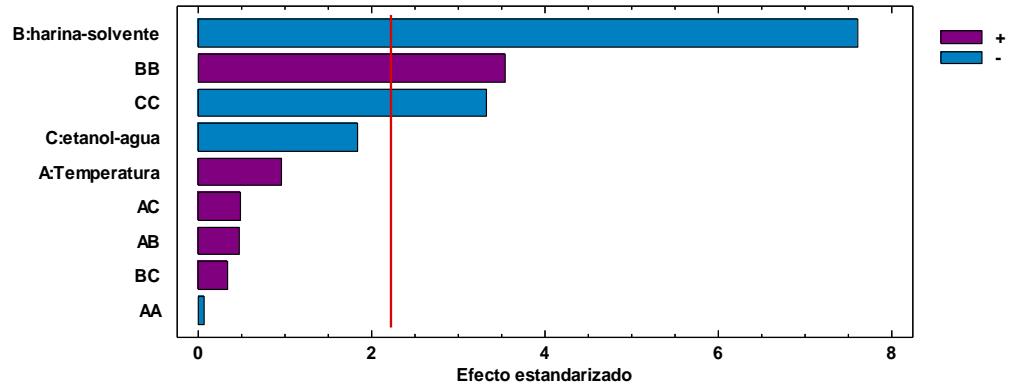
BATATA BLANCA					
Fuente	Suma de Cuadrado	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	0,215897	1	0,215897	0,14	0,7190
B:harina - solvente	66,21	1	66,21	42,01	0,0001
C:etanol - agua	10,0882	1	10,0882	6,40	0,0299
AA	0,263366	1	0,263366	0,17	0,6913
AB	0,341969	1	0,341969	0,22	0,6513
AC	0,174171	1	0,174171	0,11	0,7464
BB	20,7339	1	20,7339	13,16	0,0046
BC	0,000249203	1	0,000249203	0,00	0,9902
CC	9,22098	1	9,22098	5,85	0,0361
Error total	15,7603	10	1,57603		
Total (corr.)	114,594	19			

BATATA AMARILLA					
Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	0,774597	1	0,774597	0,92	0,3603
B:harina - solvente	48,7369	1	48,7369	57,84	0,0000
C:etanol - agua	2,85149	1	2,85149	3,38	0,0957
AA	0,00347142	1	0,00347142	0,00	0,9501
AB	0,188378	1	0,188378	0,22	0,6465
AC	0,197641	1	0,197641	0,23	0,6386
BB	10,5484	1	10,5484	12,52	0,0054
BC	0,0982065	1	0,0982065	0,12	0,7399
CC	9,30022	1	9,30022	11,04	0,0077
Error total	8,4259	10	0,84259		
Total (corr.)	76,1936	19			

BATATA NARANJA					
Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	0,445102	1	0,445102	0,25	0,6293
B:harina - solvente	90,3517	1	90,3517	50,31	0,0000
C:etanol - agua	6,50732	1	6,50732	3,62	0,0861
AA	0,0272659	1	0,0272659	0,02	0,9044
AB	0,0222679	1	0,0222679	0,01	0,9135
AC	0,116357	1	0,116357	0,06	0,8042
BB	20,1782	1	20,1782	11,24	0,0073
BC	0,951903	1	0,951903	0,53	0,4833
CC	13,4009	1	13,4009	7,46	0,0211
Error total	17,9575	10	1,79575		
Total (corr.)	140,47	19			

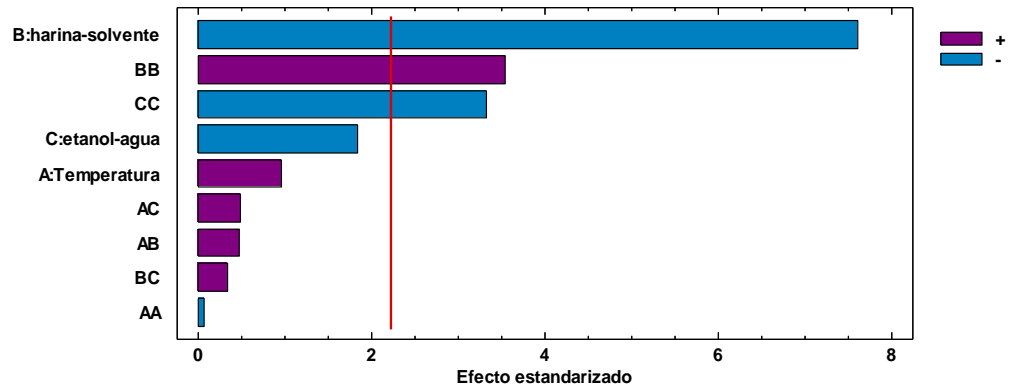
ANEXO H. Diagramas Pareto de la batata amarilla.

Diagrama de Pareto Estandarizada para CPT



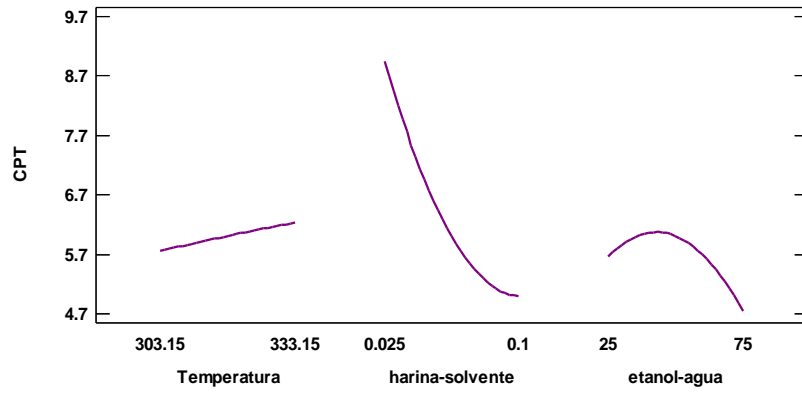
ANEXO I. Diagramas Pareto de la batata naranja.

Diagrama de Pareto Estandarizada para CPT



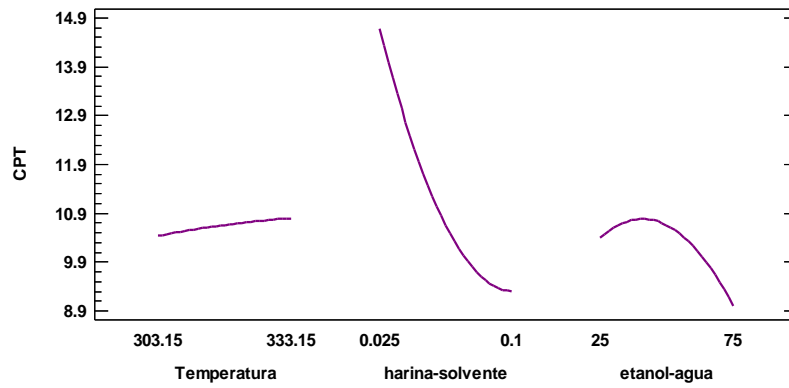
ANEXO J. Gráfica de efectos principales para la batata amarilla.

Gráfica de Efectos Principales para CPT

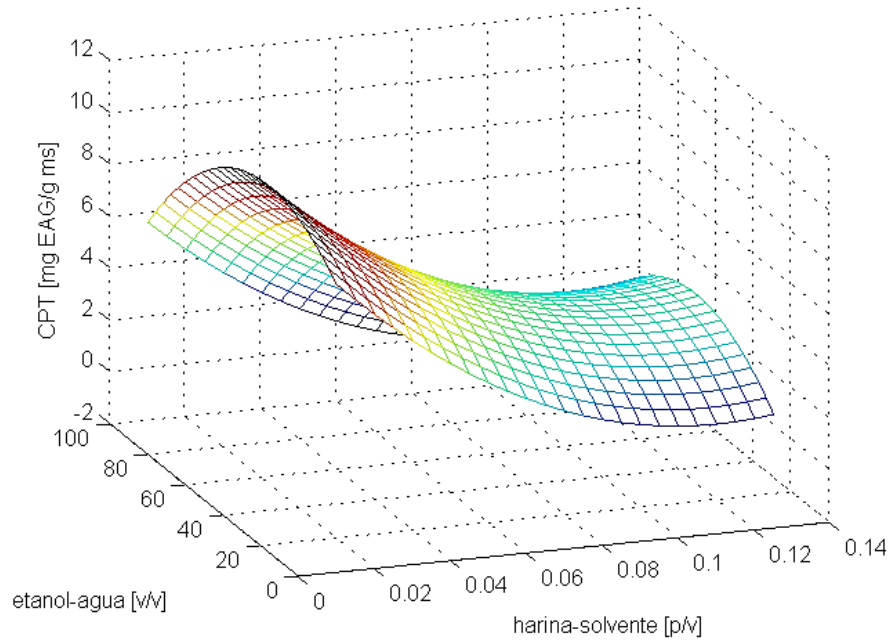


ANEXO K. Gráfica de efectos principales para la batata naranja.

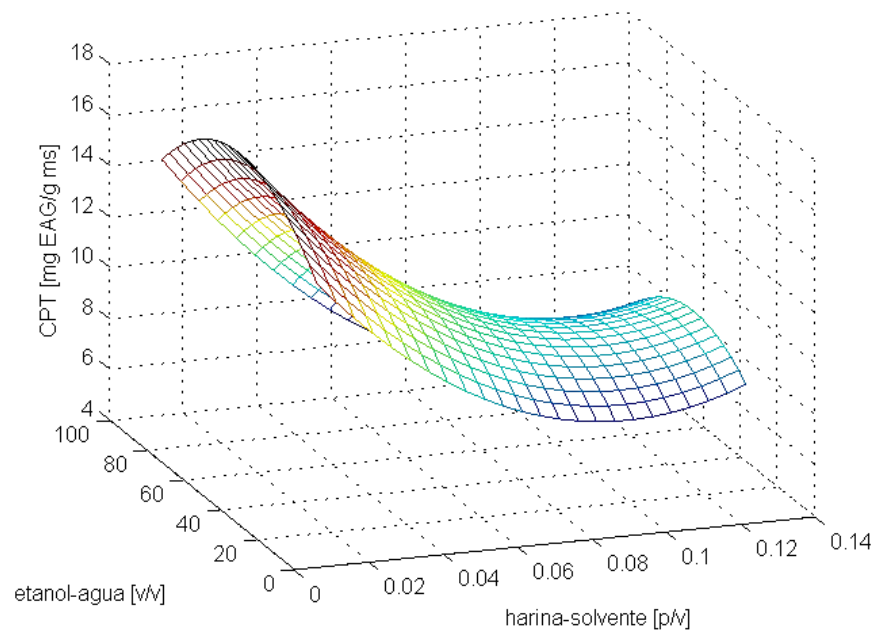
Gráfica de Efectos Principales para CPT



ANEXO L. Superficie de respuesta isotérmica (303,15 K) para el CPT en función de la relación H/S y relación E/A, del material de batata amarilla.



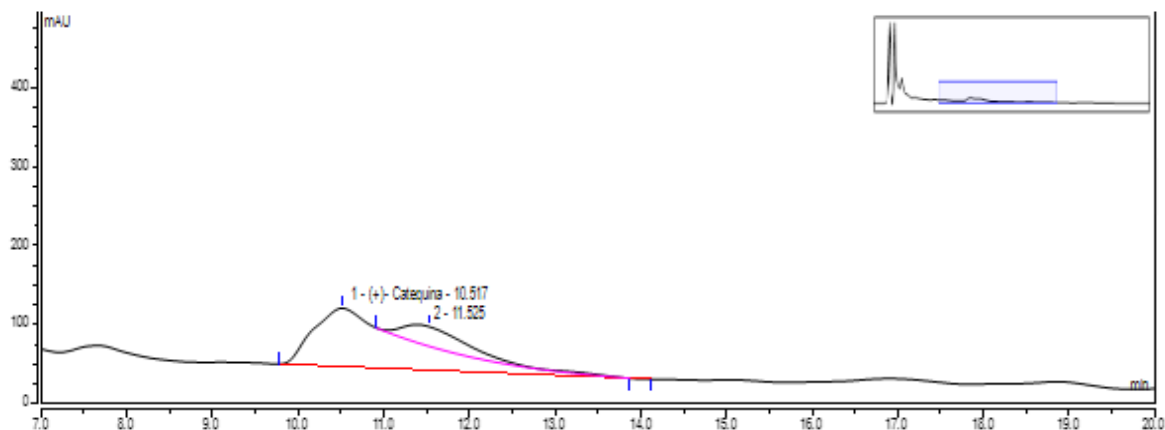
ANEXO M. Superficie de respuesta isotérmica (303,15 K) para el CPT en función de la relación H/S y relación E/A, del material de batata naranja.



ANEXO N. Cantidad de polifenoles totales extraíbles por cada punto del diseño estadístico.

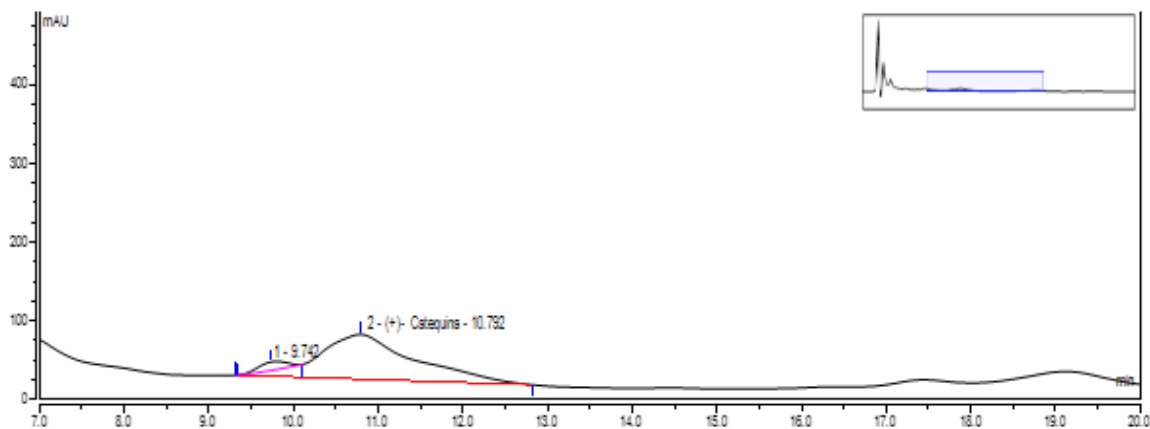
Temperatura [K]	Relación harina/solvente [p/v]	Relación etanol/agua [v/v]	CPT Batata blanca [mg EAG/g ms]	CPT Batata amarilla [mg EAG/g ms]	CPT Batata naranja [mg EAG/g ms]
292,92	0,063	50	8,3447	5,7493	10,1269
303,15	0,025	25	10,5892	7,6774	12,9280
303,15	0,100	25	7,7200	4,3521	9,5568
303,15	0,100	75	6,5519	3,8661	8,4708
303,15	0,025	75	9,3806	7,2505	12,7489
318,15	0,063	50	8,4323	5,7189	10,5795
318,15	0,063	50	8,0715	5,6277	11,2876
318,15	0,063	50	8,1450	6,2198	10,5897
318,15	0,063	8	9,0373	5,5747	9,9758
318,15	0,010	50	16,9352	12,2638	18,9043
318,15	0,063	50	8,6202	6,1136	10,3963
318,15	0,063	50	8,5782	5,7077	9,8958
318,15	0,063	92	4,1826	2,2020	5,3012
318,15	0,126	50	7,4022	4,6011	8,0193
318,15	0,063	50	8,4519	6,0718	10,6846
333,15	0,025	25	11,0103	7,8171	13,0813
333,15	0,100	25	7,3323	4,6034	9,9719
333,15	0,100	75	6,7362	5,2485	8,8954
333,15	0,025	75	10,4101	7,5167	13,8575
343,37	0,063	50	8,6240	6,4705	10,3432

ANEXO O. Cromatograma de la batata blanca



Nombre de pico	Tiempo de retención [min]	Área [mAU*min]	Altura [mAU]	Área relativa [%]
(+)- catequina	10,517	102,5722	73,93	81,76

ANEXO P. Cromatograma de la batata amarilla.



Nombre de pico	Tiempo de retención [min]	Área [mAU*min]	Altura [mAU]	Área relativa [%]
(+)- catequina	10,792	75,8368	57,04	94,95

ANEXO Q. Resultados experimentales de la cinética para los materiales de batata a condiciones intermedias: relación H/S 1/100 (p/v), relación E/A 40/60 (v/v) y temperatura de 303,15 K.

Tiempo [min]	CPT Batata blanca [mg EAG/g ms]	CPT Batata amarilla [mg EAG/g ms]	CPT Batata naranja [mg EAG/g ms]
0	10,998	9,044	10,991
2	12,769	10,751	13,106
4	14,493	11,937	15,893
8	14,924	12,316	18,296
12	15,068	12,601	19,017
16	15,211	12,648	19,593
20	15,355	12,695	19,690
24	15,451	12,743	19,834
28	15,546	12,790	20,074
32	15,594	12,885	20,266
40	15,594	12,933	20,314
48	15,642	12,980	20,362
64	15,690	12,980	20,362