

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



**“MITIGACIÓN DE LA FORMACIÓN DE ACRILAMIDA E
HIDROXIMETILFURFURAL EN HOJUELAS DE PAPAS MEDIANTE
ADICIÓN DE ANTIOXIDANTES DE TARA (*Caesalpinia spinosa*)”**

Presentada por:

PAOLA MARILYN HUARACA ESPINOZA

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Lima - Perú

2023

Document Information

Analyzed document	Tesis Paola Marilyn.pdf (D163273771)
Submitted	2023-04-06 01:08:00
Submitted by	Rosana Chirinos
Submitter email	chiri@lamolina.edu.pe
Similarity	19%
Analysis address	chiri.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/5377/zegarra-ganoza-marianel... Fetched: 2023-01-17 21:55:15	 86
W	URL: https://www.boe.es/doue/2017/304/L00024-00044.pdf Fetched: 2023-04-06 01:08:00	 2
W	URL: https://scripts.iucr.org/cgi-bin/paper?xu2485 Fetched: 2022-01-29 19:35:04	 1
SA	Universidad Nacional Agraria La Molina / trab final reda.docx Document trab final reda.docx (D142758102) Submitted by: 20140294@lamolina.edu.pe Receiver: mcastillo.unalm@analysis.arkund.com	 1
SA	Ludeña alfredo revisar.docx Document Ludeña alfredo revisar.docx (D112369971)	 1
W	URL: https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/185540/Obtencion-de-un-extracto-optimizado... Fetched: 2022-10-08 18:21:21	 51
SA	DEBER ARTICULO.docx Document DEBER ARTICULO.docx (D30714930)	 3
SA	Informe Final.pdf Document Informe Final.pdf (D130805352)	 3
W	URL: https://www.researchgate.net/publication/329992542_Determination_of_5-hydroxymethylfurfural_5-... Fetched: 2022-03-02 15:50:32	 1
SA	Trabajo de Fin de Titulación MAVL.docx Document Trabajo de Fin de Titulación MAVL.docx (D29805488)	 1
SA	1598145002_754__TrabajoFenoles.docx Document 1598145002_754__TrabajoFenoles.docx (D79215511)	 1

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**“MITIGACIÓN DE LA FORMACIÓN DE ACRILAMIDA E
HIDROXIMETILFURFURAL EN HOJUELAS DE PAPAS MEDIANTE
ADICIÓN DE ANTIOXIDANTES DE TARA (*Caesalpinia spinosa*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

PAOLA MARILYN HUARACA ESPINOZA

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Eduardo Morales Soriano

PRESIDENTE

Dra. Rosana Chirinos Gallardo

ASESOR

Dr. David Campos Gutiérrez

CO-ASESOR

Dra. Ana Aguilar Galvez

MIEMBRO

Mg. Sc. Elva Ríos Ríos

MIEMBRO

AGRADECIMIENTO

A mis asesores Dr. David Campos y Dra. Rosana Chirinos, por todo el apoyo para el desarrollo de esta investigación y darme la oportunidad de ser parte del instituto de investigación IBT-UNALM.

A mi madre Paulina, a mis hermanos Kety y Marco, por su apoyo incondicional y por estar siempre conmigo.

A Adelayda, Diego y Marianella, por su amistad, y buena disposición durante la realización de la etapa experimental, y a todos mis compañeros del Instituto de Biotecnología por el apoyo durante la convivencia en el laboratorio.

Al programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) por el financiamiento de la Maestría en Tecnología de Alimentos (contrato N° 048-2017-INIA-PNIA-MAESTRÍA).

Al Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico, y de Innovación Tecnológica (FONDECYT) y al Banco Mundial, por el financiamiento para el desarrollo de la presente investigación como parte del proyecto “Mitigación de la formación de neocontaminantes - acrilamida e hidroximetilfurfural durante el procesamiento de papas fritas, mediante la adición de extractos fenólicos antioxidantes obtenidos de tara (*Caesalpinia spinosa*) e Inca Muña (*Clinopodium bolivianum*)” (Convenio de Subvención N° 65-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV).

A todos mis amigos y amigas, por su tiempo y palabras de aliento.

DEDICATORIA

A Dios.

**A mi madre, por creer en mí,
y su apoyo incondicional**

A mi familia y a mí.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Hojuelas de papa frita	3
2.2. Reacción de Maillard	3
2.2.1. Etapas de la reacción de Maillard	4
2.2.2. Variables que intervienen en la reacción de Maillard.....	5
2.3. Neo-contaminantes de la reacción de Maillard.....	6
2.3.1. Acrilamida.....	6
2.3.2. Hidroximetilfurfural.....	13
2.4. La tara	17
2.4.1. Usos de la tara.....	17
2.5. Compuestos fenólicos	18
2.5.1. Capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos.....	20
2.6. Compuestos fenólicos de la tara	20
2.6.1. Los taninos	21
2.7. Efecto de los compuestos fenólicos en la mitigación de la formación de acrilamida e hidroximetilfurfural.....	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Lugar de ejecución.....	28
3.2. Materia prima.....	28
3.3. Materiales, reactivos y equipos.....	28
3.3.1. Materiales.....	28
3.3.2. Reactivos.....	29
3.3.3. Equipos	29
3.4. Métodos.....	30
3.4.1. Determinación de humedad y materia seca	30
3.4.2. Determinación de pH	30
3.4.3. Determinación de acidez titulable.....	31
3.4.4. Determinación de sólidos solubles.....	31
3.4.5. Determinación de azúcares reductores.....	31
3.4.6. Determinación de asparagina.....	32
3.4.7. Determinación del diámetro polar y ecuatorial.....	33

3.4.8. Determinación de galotaninos.....	33
3.4.9. Determinación de compuestos fenólicos totales	34
3.4.10. Determinación de la capacidad antioxidante <i>in vitro</i>	34
3.4.11. Determinación del color.....	35
3.4.12. Determinación del contenido de acrilamida en el sistema modelo.....	35
3.4.13. Determinación del contenido hidroximetilfurfural en el sistema modelo	36
3.4.14. Determinación del contenido de acrilamida en hojuelas de papa frita	37
3.4.15. Determinación de 5-hidroximetilfurfural de las hojuelas de papa frita	38
3.5. Metodología experimental	38
3.5.1. Obtención de la harina de tara	38
3.5.2. Obtención de los extractos de tara	39
3.5.3. Proceso de purificación parcial de los extractos de tara	39
3.5.4. Evaluación de los extractos de tara en un sistema modelo asparagina-glucosa	40
3.5.5. Evaluación de los extractos de tara para la mitigación de acrilamida en las hojuelas de papa frita	41
3.6. Análisis estadístico.....	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1. Caracterización de la harina de tara	44
4.2. Caracterización de los extractos de tara.....	45
4.3. Caracterización físico-química de la papa	48
4.4. Evaluación de los extractos de tara en la mitigación de acrilamida en un sistema modelo asparagina-glucosa.....	50
4.5. Evaluación de los extractos de tara purificados parcialmente para la fritura de las hojuelas de papa	56
V. CONCLUSIONES	74
VI. RECOMENDACIONES.....	75
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
VIII. ANEXOS	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades químicas y estructura molecular de la acrilamida	7
Tabla 2: Concentraciones de acrilamida en algunos alimentos	8
Tabla 3: Concentración de acrilamida en diferentes productos	9
Tabla 4: Propiedades químicas y estructura molecular del hidroximetilfurfural.....	13
Tabla 5: Concentración de 5-HMF en algunos productos alimenticios.....	14
Tabla 6: Clasificación taxonómica.....	17
Tabla 7: Clasificación de los compuestos fenólicos	19
Tabla 8: Contenido de ácido gálico libre, galotaninos, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de la harina de tara	44
Tabla 9: Caracterización de los extractos de tara en polvo.....	46
Tabla 10: Características físico-química de la papa variedad canchan.....	49
Tabla 11: Mitigación del hidroximetilfurfural durante la fritura de hojuelas de papa, empleando ECTPL y EHTPL aplicados por inmersión a presión atmosférica	62
Tabla 12: Mitigación del hidroximetilfurfural durante la fritura de hojuelas de papa, empleando ECTPL y EHTPL aplicados por impregnación a presión de vacío	63
Tabla 13: Valores L, a*, b*, C*, h° y ΔE' de las hojuelas de papas fritas, previa inmersión atmosférica en ECTPL y EHTPL	66
Tabla 14: Valores L*, a*, b*, C*, h° y ΔE' de las hojuelas de papas fritas, previa impregnación a presión de vacío en ECTPL y EHTPL	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la reacción de Maillard.....	4
Figura 2. Formación de la acrilamida a partir de asparagina por la reacción de Maillard (A), componente α -hidroxicarbonil (B) y ruta secundaria por glicerol (C).....	10
Figura 3. Principales rutas de formación del 5-hidroxi metilfurfural (HMF).....	15
Figura 4. Clasificación de los taninos, a. Tanino condensado, donde “n” es usualmente 1 a 10 monómeros y grupo –OH, b. El tanino hidrolizable de Zumaque (<i>Rhus semialata</i>) conformado de glucosa y ocho moléculas de ácido gálico, c. Tanino complejo, conformado por 1 unidad de catequina con enlace glucosídico a un galotanino o elagitanino.	22
Figura 5. Enlace meta-depsídico característico en los galotaninos y estructura del penta galoil glucosa	23
Figura 6. Posibles reacciones de los polifenoles marcados del (1) al (7), desde los productos intermedios de la acrilamida y la intervención de los polifenoles	25
Figura 7. Estructuras o compuestos específicos, sitios de acción y su resultado.....	26
Figura 8. Diseño experimental del estudio de mitigación de la acrilamida e HMF con extractos de tara crudo e hidrolizados purificados parcialmente	43
Figura 9. Mitigación de acrilamida en el sistema modelo asparagina-glucosa empleando diferentes concentraciones de galotaninos: (A) ECTCA y (B) EHTCA	51
Figura 10. Cantidad de hidroximetilfurfural formado en un sistema modelo asparagina-glucosa empleando como agentes mitigadores (A) ECTCA y (B) EHTCA.....	55
Figura 11. Mitigación de acrilamida en hojuelas de papa frita previamente sujetas a inmersión a presión atmosférica (A) ECTPL y (B) EHTPL.....	57
Figura 12. Mitigación de acrilamida en hojuelas de papa frita previamente sujetas a impregnación al vacío (A) ECTPL y (B) EHTPL	58
Figura 13. Imágenes de hojuelas de papa frita previamente sujetas a inmersión en agua (A, B y C, respectivamente) y en ECTPL (a, b y c, respectivamente) por 2, 5 y 10 min.....	67
Figura 14. Imágenes de hojuelas de papa frita previamente sujetas a inmersión en agua (A, B y C, respectivamente) y en EHTPL (a, b, y c, respectivamente) por 2, 5 y 10 min.....	68
Figura 15. Imágenes de hojuelas de papa frita previamente sujetas a impregnación en agua (A, B y C, respectivamente) y en ECTPL (a, b y c, respectivamente) por 2, 5 y 10 min	71
Figura 16. Imágenes de hojuelas de papa frita previamente sujetas a impregnación en agua (A, B y C, respectivamente) y en EHTPL (a, b, c, respectivamente) por 2, 5 y 10 min	72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Cromatograma de acrilamida y HMF	86
Anexo 2: Análisis estadístico - caracterización de los extractos de tara.....	88
Anexo 3: Análisis estadístico - evaluación de los extractos de tara en la mitigación de AA en sistema modelo.....	92
Anexo 4: Análisis estadístico - evaluación de los extractos de tara en la mitigación de HMF en sistema modelo.....	94
Anexo 5: Análisis estadístico - evaluación de los extractos de tara en la mitigación de la AA en hojuelas de papa frita	97
Anexo 6: Análisis estadístico - evaluación de los extractos de tara en la mitigación de la HMF en hojuelas de papa frita	102
Anexo 7: Análisis estadístico - parámetros de color de las hojuelas de papa frita con ECTPL y EHTPL aplicado por inmersión a presión atmosférica	106
Anexo 8: Análisis estadístico – parámetros de color de las hojuelas de papa frita con ECTPL y EHTPL aplicado por impregnación a presión de vacío	114

RESUMEN

La acrilamida e hidroximetilfurfural son neo-contaminantes formados durante el procesamiento térmico de los alimentos a través de la reacción de Maillard. Según la IARC (1994) y la Unión Europea (2017) son posibles cancerígenos y se encuentran presentes en diversos alimentos sometidos a tratamiento térmico como café, pan, hojuelas de papa frita, entre otros. El objetivo fue evaluar el impacto de los compuestos fenólicos presentes en los extractos de tara crudo (ECT) e hidrolizado (EHT) purificados parcialmente mediante cromatografía de adsorción (CA) o partición líquido-líquido (PL), sobre la mitigación de acrilamida (AA) e hidroximetilfurfural (HMF), en un sistema modelo (asparagina-glucosa) y en un sistema real (hojuelas de papa frita). En el sistema modelo, los compuestos fenólicos del ECTCA y el EHTCA, evaluados a las concentraciones de 5 y 7.5 mg AGE/mL, tuvieron mayor impacto en la mitigación de la acrilamida (entre 81 y 96 por ciento), mientras que efectos sobre la mitigación del HMF, no fueron evidenciados. En el sistema real los ECTPL y el EHTPL aplicados bajo inmersión a presión atmosférica lograron la mayor mitigación de acrilamida con 29 y 58 por ciento a los 5 min de inmersión, respectivamente. En la impregnación bajo presión de vacío el ECTPL mitigó la acrilamida entre 60.0 y 66.0 por ciento en tiempos de 2 a 10 min de impregnación, respectivamente. Al evaluar el EHTPL la mitigación de acrilamida para los tiempos de impregnación entre 2 y 10 min fue entre 65 y 73 por ciento. La mitigación de HMF de todos los tratamientos evaluados, estuvo comprendida entre un 29 y 68 por ciento. El color de las hojuelas de papa frita, empleando todos los extractos de tara y las diferentes formas de aplicación, indican que las papas presentaron una coloración amarilla dorada, al ser comparadas con las hojuelas de papa control (sin adición de antioxidantes fenólicos) se encontraron ligeros cambios con tendencia a la opacidad; siendo éstos cambios marcados para el tratamiento de impregnación de las papas con el EHTPL. Estos resultados muestran que el extracto hidrolizado de tara constituye una fuente importante de compuestos fenólicos con potencial aplicación en la industria alimentaria para la mitigación de la acrilamida y HMF, en hojuelas de papas fritas.

Palabras clave: Acrilamida, hidroximetilfurfural, hojuelas de papa frita, compuestos fenólicos antioxidantes, tara.

SUMMARY

Acrylamide and hydroxymethylfurfural are neo-contaminants formed during the thermal processing of foods through the Maillard reaction. According to the IARC (1994) and the European Union (2017) they are possible carcinogens and are present in various foods subjected to heat treatment such as coffee, bread, potato chips, among others. The objective was to evaluate the impact of phenolic compounds present in crude tara (ECT) and hydrolyzed (EHT) extracts partially purified by adsorption chromatography (CA) or liquid-liquid partition (PL), on the mitigation of acrylamide (AA) and hydroxymethylfurfural (HMF), was evaluated in a model system (asparagine-glucose) and in a real system (potato chips). In the model system, the phenolic compounds of ECTCA and EHTCA, evaluated at concentrations of 5 and 7.5 mg AGE/mL, had a greater impact on the mitigation of acrylamide (between 81 and 96 percent), while effects on the mitigation of the HMF, were not evidenced. In the real system, the ECTPL and EHTPL applied under atmospheric pressure immersion achieved the highest acrylamide mitigation with 29 and 58 percent at 5 min immersion, respectively. In the impregnation under vacuum pressure, the ECTPL mitigated the acrylamide between 60.0 and 66.0 percent in times of 2 to 10 min of impregnation, respectively. When evaluating the EHTPL, the acrylamide mitigation for the impregnation times between 2 and 10 min was between 65 and 73 percent. The mitigation of HMF of all the treatments evaluated was between 29 and 68 percent. The color of the fried potato flakes, using all the tara extracts and the different forms of application, indicate that the potatoes have a golden yellow coloration, when compared with the control potato flakes (without the addition of phenolic antioxidants) they were found slight changes with a tendency to opacity; these changes being marked for the impregnation treatment of potatoes with EHTPL. These results show that the hydrolyzed tara extract constitutes an important source of phenolic compounds with potential application in the food industry for the mitigation of acrylamide and HMF, in potato chips.

Keywords: acrylamide, hydroxymethylfurfural, potato chips, antioxidant phenolic compounds, tara.

I. INTRODUCCIÓN

Las hojuelas de papa frita son el resultado del proceso de fritura, donde se producen cambios químicos y físicos por la temperatura y tiempo de fritura al que son sometidas, entre los cuales se encuentran cambios de color, sabor, aroma, así como la producción de neo-contaminantes por la reacción de Maillard (RM) (Capuano y Flogiano 2011). El tipo y cantidad de neo-contaminantes formados, producto de la fritura de las papas, es de interés para las instituciones u organismos encargados de generar directrices para la regulación de los alimentos, sobre todo por el aumento del consumo de hojuelas de papa frita a nivel mundial. Las hojuelas de papa frita (papas chips) tiene la participación del 23 por ciento del mercado de los snacks a nivel mundial y en el 2019 se valoró en USD 33,382 millones; solo en Perú se ha registrado un consumo per-cápita de snacks salados de 0.57 kg/persona/año (MINAGRI 2020).

Entre los principales neo-contaminantes, que se forman durante el procesamiento térmico vía RM, está la acrilamida y el 5-hidroxi metilfurfural (HMF) (Qi *et al.* 2018a, Verma y Yadav, 2020). La acrilamida se forma de la reacción de un azúcar reductor con la asparagina (Moltram *et al.* 2002) y el HMF resulta como producto intermedio de la RM (Verma y Yadav 2020). Según la International Agency for Research on Cancer (1994), la acrilamida es un compuesto que está clasificada en el grupo 2A como “probablemente cancerígeno para los seres humanos”; la Unión Europea lo considera en la categoría 2 como “sustancia que debe ser tratada como si fuera carcinógeno en humanos” y en la categoría 3 como “tóxico para la reproducción”. Estudios *in vitro* explican que la acrilamida produce mutaciones genéticas y alteraciones cromosómicas, pudiendo producir efectos cancerígenos, neurotóxicos y genotóxicos (FAO 2002; CODEX 2014); en estudios realizados en humanos no encontraron una evidencia consistente que la acrilamida de la dieta esté asociada con el riesgo de algún tipo de cáncer (Virk-Baker *et al.* 2014). Sin embargo, puede ser un potencial cancerígeno para el hombre, porque se ha informado que, en dosis altas puede causar cáncer en animales de laboratorio aumentando la frecuencia de tumores benignos y malignos en diferentes órganos (NTP 2011). Después de su hallazgo, por primera vez en abril del 2002 por la Autoridad Nacional de Alimentos de Suecia y la Universidad de Estocolmo, quienes encontraron concentraciones de acrilamida en alimentos, desde microgramos hasta miligramos por kilogramo (Zyzak *et al.* 2003), varias instituciones dieron la alerta y publicaron las cantidades de acrilamida permitidas para ciertos alimentos (FDA 2006).

El contenido de acrilamida varía de acuerdo al alimento y su proceso, los niveles de acrilamida más altos se encuentran en las papas fritas que varían entre 310 y 3,500 µg/kg y en papas fritadas por un tiempo más prolongado alcanzan niveles entre 12,000 y 12,800 µg/kg (Fernández 2015). De otro lado el HMF puede producir efectos carcinógenicos, mutagénicos, y genotóxicos (NTP 2011). La Confédération des Industries Agro-Alimentaires de l'UE (CIAA) (2011), mencionaron los parámetros que influyen en el contenido de acrilamida en los alimentos a base de papas, centrándose en factores agronómicos (asparagina y azúcares) y de procesamiento (temperatura del aceite, tiempo de fritura, aditivos como antioxidantes, entre otros).

Al respecto, diversos estudios sugieren el uso de compuestos fenólicos que, dada su propiedad antioxidante, pueden tener la capacidad de mitigar la formación de la acrilamida y HMF en los alimentos sometidos a altas temperaturas (Cheng *et al.* 2009; Oral *et al.* 2014; Rannou *et al.* 2016). Destacan trabajos como el Morales *et al.* (2014) quienes evaluaron la eficacia de extractos de antioxidantes de té verde, canela y orégano, alcanzando una mitigación de acrilamida en papas fritas entre 17 y 62 por ciento, el de Mohamed *et al.* (2014) quienes realizaron una evaluación similar, empleando extractos fenólicos de clavo de olor y romero, consiguiendo mitigaciones de 65 - 93 por ciento y Pedreschi *et al.* (2018) evaluaron extractos de tara para mitigar la formación de acrilamida y HMF en panes, dando como resultado una mitigación del ~ 90 por ciento de acrilamida y ~ 85 por ciento de HMF. A la fecha no se han encontrado estudios donde se aborde el uso de extractos fenólicos de tara como agente que permita mitigar la acrilamida y HMF en hojuelas de papas fritas, es por ello que la presente investigación tuvo como objetivos:

- Evaluar el efecto de extractos de tara sin hidrolizar (crudo) e hidrolizado, en la mitigación de la formación de la acrilamida e hidroximetilfurfural, en un sistema modelo asparagina-glucosa.
- Evaluar el efecto de extractos de tara sin hidrolizar (crudo) e hidrolizado, aplicados bajo dos condiciones: por inmersión a presión atmosférica y por impregnación a vacío, en la mitigación de la formación de acrilamida e hidroximetilfurfural en hojuelas de papa frita.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. HOJUELAS DE PAPA FRITA

Las hojuelas de papa frita son un bocadillo muy popular en el mundo, según la NTP 011.801 (2016), las hojuelas de papa frita, proceden de tubérculos de papas previamente seleccionadas, cortadas en hojuelas o rodajas, con piel o sin piel, fritas en aceite vegetal y dispuesto en envases. Para obtener las hojuelas de papa frita, se rebanan finamente las papas y se fríen a una alta temperatura. La fritura es una técnica de deshidratación, que se da a una temperatura por encima del punto de ebullición del agua (130 - 190 °C) y tiene lugar cuando el alimento se sumerge en el aceite caliente, donde se produce el intercambio de calor y masa (Yaranga 2019) con la consecuente evaporación del agua, provocando que el alimento empiece a secarse, desarrolle porosidad y rugosidad en la superficie, formando una costra; sin embargo, las hojuelas de papa frita son tan delgadas que en su totalidad son corteza al final de la fritura (Pedreschi *et al.* 2018). Durante el freído de la papa, se producen cambios químicos y físicos, que son responsables de los atributos sensoriales de las hojuelas de papa frita, como el desarrollo del color (por la reacción de Maillard) y la textura; pero, al mismo tiempo se producen reacciones indeseables y la formación de compuestos tóxicos o neo-formados, como: la acrilamida, furano, HMF, entre otros (Pedreschi *et al.* 2018).

2.2. REACCIÓN DE MAILLARD

Esta reacción lleva el nombre del bioquímico francés Louis-Camille Maillard, quién en 1913 publicó los primeros estudios de los aminoácidos y azúcares reductores, explicando que bajo reacciones complejas, producidas durante el calentamiento se da la formación de sustancias denominadas melanoidinas, por medio de reacciones de condensación, eliminación y otros mecanismos de degradación. Posteriormente Amadori (1929), Heyns (1953), Hodge (1953) y otros, consideraron que la reacción de Maillard es producto de una serie de reacciones paralelas y consecutivas influenciadas entre ellas y por diferentes factores (Plata 2015).

Según Fennema (2010), es un proceso de reacción en cadena (los productos que se generan realimentan el proceso) que se desarrolla entre el grupo amino de un aminoácido y el grupo carbonilo de un azúcar reductor, estos conducen a la formación de melanoidinas y otros

subproductos, los mismos que intervienen en el color, olor y sabor de diversos alimentos. La reacción se desarrolla generalmente a bajas actividades de agua y pH básico, siendo necesario la presencia de calor, así la reacción comienza cuando los azúcares reductores reaccionan con aminoácidos iniciando una secuencia de eventos químicos que conducen al pardeamiento de los alimentos a través de la generación de compuestos reactivos (monocarbonilos y dicarbonilos) (Halford *et al.* 2012).

2.2.1. Etapas de la reacción de Maillard

En la Figura 1, se observan las tres etapas involucradas en la reacción de Maillard, las que se describen en los párrafos siguientes.

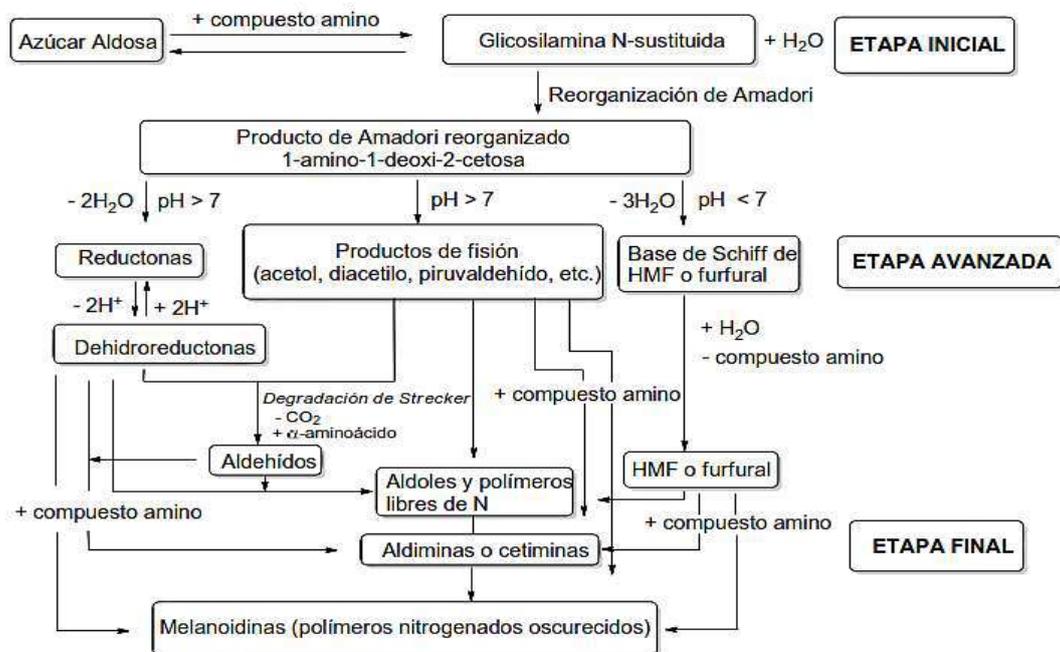


Figura 1. Esquema de la reacción de Maillard

Fuente: Arribas (2013)

a. Etapa inicial: Comienza con una reacción de condensación entre el grupo carbonilo (de un azúcar reductor) y un grupo amino libre (de un aminoácido, péptido o proteína) originándose una base de Schiff inestable, este último es el primer paso en la producción de acrilamida por medio de la deshidratación del compuesto de N-glicosil y en hidroximetilfurfural (HMF) por medio de su hidratación, el N-glicosil lleva el nombre del azúcar reductor (aldosa o cetosa) con cual está haciendo reacción, así, si se parte de una N-aldosilamina mediante la reorganización

de Amadori se genera la 1-amino-1-desoxi-2-cetosa y si se parte de una N-cetosilamina mediante la reorganización de Heynz se genera la 2-amino-2-desoxialdosa (Gökmen y Şenyuva 2007; Plata 2015).

b. Etapa avanzada: A pH neutro o ligeramente ácido y en condiciones de baja actividad de agua, la reacción predominante es una enolización-1,2 que da lugar a la formación de furfural cuando interactúa una pentosa o el HMF en el caso de una hexosa. Por el contrario, a pH alcalinos tiene lugar una enolización-2,3 formándose reductonas y una variedad de productos de ruptura tales como acetol, piruvaldehído y diacetilo, permitiendo su participación en nuevas reacciones, con otros productos intermedios de la reacción (Arribas y Morales 2009).

c. Etapa final: Está compuesto por un gran número de reacciones que incluyen ciclaciones, deshidrataciones, reorganizaciones y condensaciones, originando dos clases diferentes de compuestos: los compuestos aromáticos volátiles (siguiendo la vía paralela de Strecker) y las melanoidinas, éstas son polímeros coloreados producidos por reacciones de condensación de compuestos con grupos aminos procedentes de las etapas intermedias de la reacción de Maillard como los pirroles N-sustituidos; su estructura varía dependiendo de las condiciones de reacción y del tipo de alimento (Arribas y Morales 2009).

2.2.2. Variables que intervienen en la reacción de Maillard

De acuerdo a Badui (2006) y Plata (2015) las variables más importantes que intervienen en la reacción de Maillard son las siguientes:

a. Sustrato: El grupo carbonilo (azúcares reductores) que más favorece la reacción son las pentosas seguidas por las hexosas, siendo las aldosas las que actúan más rápido que las cetosas y en general los monosacáridos son más reactantes que los disacáridos. De parte del compuesto nitrogenado, el aminoácido o proteína es más reactivo si tiene más de un grupo amino e incrementa si está más alejado del grupo carboxilo.

b. pH: El pH influye en la degradación de los azúcares con o sin la presencia del aminoácido, se tiene que a pH alcalino la velocidad se incrementa y en condiciones muy ácidas el mecanismo se inhibe.

c. Humedad: La reacción de Maillard depende de la hidratación del alimento, la más alta actividad se da a una humedad relativa del 50 y 70 por ciento, en la cual el alimento tendrá entre un 10 a 15 por ciento de agua, si el nivel de humedad es alto se disminuye la velocidad de reacción.

d. Actividad de agua: Valores de 0.6 a 0.9 son las que favorecen la reacción de Maillard, una actividad de agua menor, disminuye la movilidad de los reactantes disminuye y si es mayor los reactantes se diluyen, porque el agua ejerce una acción inhibidora.

e. Temperatura: La reacción se origina no solo a altas temperaturas, también se puede dar a temperatura ambiente, otorgando energías de activación diferentes, también se observa en condiciones de refrigeración si la energía de activación es baja.

f. Metales: Tienen un efecto catalizador sobre la formación de la melanoidinas, por ejemplo: el cobre y el hierro. Entre otros factores están la presencia o ausencia de cationes metálicos, sales o ácidos, etc.

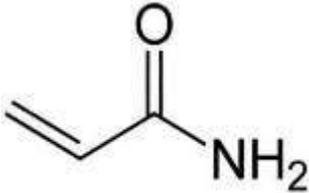
2.3. NEO-CONTAMINANTES DE LA REACCIÓN DE MAILLARD

Se denominan contaminantes neo-formados, a los compuestos que se derivan durante los procesos de transformación y/o calentamiento de los alimentos, están presentes en una amplia variedad de alimentos que se consumen a diario (ejm. cereales de desayuno, galletas, pan, café, etc.), son potencialmente dañinos y poco saludables, es decir, presentan probables efectos perjudiciales para los seres humanos; dentro de los neo-formados de la reacción de Maillard se encuentran la acrilamida y el HMF (Capuano y Flogiano 2011; Lee *et al.* 2019).

2.3.1. Acrilamida

La acrilamida también llamado monómero de acrilamida o 2-propenamida, es un compuesto sólido cristalino, incoloro e inodoro a temperatura ambiente en su forma pura, no es inflamable (Skog y Viklund 2014), es altamente soluble en agua y en disolventes orgánicos (metanol, etanol y acetona) (Vijay *et al.* 2016). La estructura molecular y algunas propiedades químicas se observan en la Tabla 1.

Tabla 1: Propiedades químicas y estructura molecular de la acrilamida

Propiedades químicas		Estructura molecular
Número de registro CAS	79-0601	
Fórmula molecular	C ₃ H ₅ NO	
Peso molecular	71,08 g/mol	
Punto de ebullición	125 °C a 25 mmHg	
Punto de fusión	84,5 °C	
Solubilidad	Soluble en agua, alcoholes (metanol, etanol), acetona, éter dimetílico y acetonitrilo.	
Reactividad	Reacciona con ácidos, bases y agentes oxidantes.	
Estabilidad	Estable a temperatura ambiente, se polimeriza a la temperatura del punto de fusión o al quedar expuesto a la luz ultravioleta, se polimeriza bruscamente al fundirse o cuando se somete a la acción de los oxidantes.	

Fuente: Skog y Viklund (2014), AECOSAN (2017), CODEX (2014)

Jackson y Al-Taher (2010), indican que la acrilamida se genera en alimentos sometidos a procesos de alta temperatura (> 120 °C) y con bajo nivel de humedad, como por ejemplo al freír, hornear, tostar y en la extrusión, también se puede encontrar en alimentos procesados industrialmente, así como en aquellos preparados en casa por el consumidor.

La acrilamida tiene diferentes usos, se utiliza principalmente para la producción de poliacrilamida, empleada en la industria del papel y textil, en el procesamiento de mineral, en cosméticos y en laboratorios (en la elaboración de geles de poliacrilamida, para electroforesis), como agente clarificante del agua en el tratamiento de aguas residuales, etc. (Skog y Viklund 2014; Jackson y Al-Taher 2010). Se ha determinado que la principal vía de síntesis de acrilamida es la reacción de Maillard, es decir, depende de la reacción entre los azúcares

reductores y aminoácidos y en algunos alimentos los niveles de acrilamida pueden aumentar de acuerdo a la duración del calentamiento (Moltram *et al.* 2002).

La FDA (2006), elaboró una base de datos de concentraciones de acrilamida en alimentos, los niveles de acrilamida más altos se muestran en la Tabla 2, en ésta se observa que la concentración de acrilamida es más elevada en las hojuelas de papa frita con 3,500 µg/kg, sin embargo hay otros estudios en donde la concentración de acrilamida en las hojuelas de papa frita alcanzaron 12,800 µg/kg cuando las papas fueron fritadas por un tiempo prolongado (Fernández 2015).

Tabla 2: Concentraciones de acrilamida en algunos alimentos

Alimentos, grupos con mayor concentración de acrilamida	Concentración de acrilamida (µg/kg)
Chips de papas (hojuelas de papa frita)	< 50-3,500
Galletas, bizcochos y tostadas	< 30-3,200
Snacks (hojuelas de masa)	12-1,340
Papas fritas	20-2,287
Alimentos secos	11-1,184
Cereales para el desayuno	< 30-1,346
Galletas infantiles	ND-130

Fuente: FAO/OMS (2005), FDA (2006), EFSA (2008). ND: No detectado (< LOQ de análisis -10 ng/g)

El Reglamento (UE) 2017/2158 ha determinado los niveles de referencia de concentración de acrilamida de varios productos, siendo los más destacables aquellos que se presenta en la Tabla 3. Los niveles de referencia sirven como indicadores para verificar las medidas de mitigación, es decir, si se superan los niveles de referencia se debe revisar y controlar las etapas de transformación de los alimentos en las que pueda formarse acrilamida, con la finalidad de que los niveles de acrilamida sean lo más bajo posible a los niveles de referencia, y no tengan relación negativa con la salud (Diario oficial de la Unión Europea 2017).

Tabla 3: Concentración de acrilamida en diferentes productos

Alimentos	Niveles de referencia (µg/kg)
Papa fritas a la inglesa (<i>chips</i>) fabricadas con papas frescas y con masa de papas, y otros productos con masa de papas	750
Papas fritas listas para consumir	500
Café tostado	400
Cereales para desayuno	150 - 300
Galletas y biscotes para lactantes y niños de corta edad	150
Pan de molde (a base de trigo u otro pan de molde)	50 - 100
Alimentos elaborados a base de cereales para lactantes y niños de corta edad	40

Fuente: Diario oficial de la Unión Europea (2017)

A continuación se describirá los mecanismos de formación de la acrilamida, los factores que influyen en su formación y aspectos de su toxicidad.

a. Mecanismos de formación de la acrilamida: La acrilamida se forma en los alimentos principalmente a través de la reacción de Maillard entre un compuesto carbonilo como los azúcares reductores (glucosa o fructosa) y el aminoácido asparagina (Becalski *et al.* 2003; Skog y Viklund 2014), lo que explica la aparición de la acrilamida en los alimentos a base de papas y granos, que son particularmente ricos en asparagina libre (Moltram *et al.* 2002). La acrilamida se puede formar por diversos mecanismos, sin embargo la ruta de reacción principal es mediante el uso de asparagina y glucosa, dándose a través de la condensación de los precursores para formar una base de Schiff, que sufre una decarboxilación y una serie de reordenamientos para formar finalmente acrilamida (Vijay *et al.* 2016). Sin embargo, la vía exacta de la base de Schiff, es dependiente de la fuente del carbonilo en la reacción, por eso se propusieron varias vías. Otra vía es por el ácido acrílico que puede ser formado a través de la reacción de Maillard, mediante la degradación del ácido aspártico o por medio de la oxidación de la acroleína, esta vía puede ser limitada debido a la exigencia de amoníaco, que reacciona fácilmente con carbonilos y otros intermediarios de Maillard (Skog y Viklund 2014). Otra ruta de menor importancia es la formación de 3-aminopropionamida, que es un intermediario en la

reacción de Maillard, pero también se pueden formar en los alimentos durante el almacenamiento a través de la descarboxilación enzimática de la asparagina (Skog y Viklund 2014). En la Figura 2, se muestra las principales vías generadoras de acrilamida a partir de la asparagina y una fuente de compuesto de carbonilo.

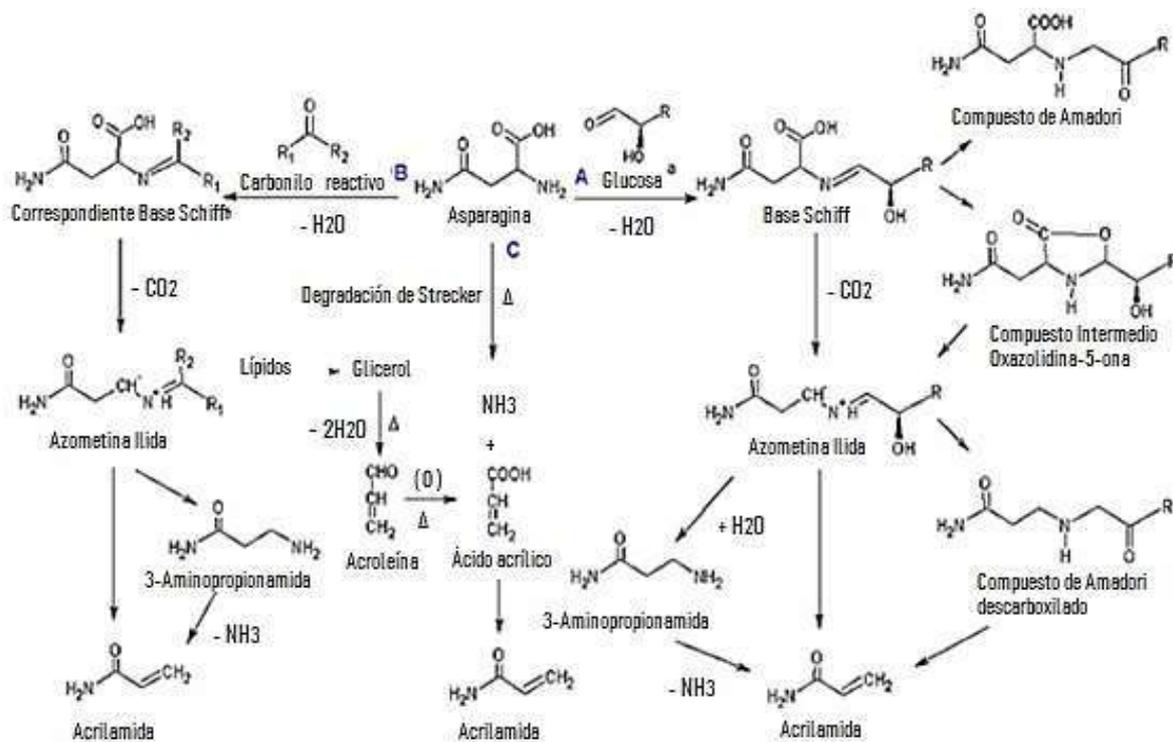


Figura 2. Formación de la acrilamida a partir de asparagina por la reacción de Maillard (A), componente α -hidroxicarbonil (B) y ruta secundaria por glicerol (C)

Fuente: Jin *et al.* (2013)

El mecanismo detallado en cada paso de la formación de acrilamida puede depender de la especie involucrada (tipo de compuesto de carbonilo), el entorno químico (contenido de agua, pH) y la temperatura de procesamiento o cocción; aunque la acrilamida se suele formar en presencia de humedad, ella tiende a acumularse en la superficie seca del alimento como la corteza de los panes y la superficie exterior de las patatas fritas (Jackson y Al-Taher 2010).

b. Factores que influyen en la formación de acrilamida: Los factores que afectan la formación de la acrilamida han sido determinados en diferentes estudios y sistemas modelo, lo que se describe a continuación:

- **Precursores:** La asparagina y los azúcares son importantes en la velocidad de reacción. La fructosa produce mayor formación de acrilamida frente a la glucosa, esto debido a la reactividad de los azúcares, donde la fructosa tiene un bajo punto de fusión (126 °C) en comparación con la glucosa (157 °C), haciendo que la reacción sea más rápida con la amina para formar la base de Schiff (Paul *et al.* 2016; Fernández 2015). La sacarosa no es un azúcar reductor, sin embargo, llevándolo a temperaturas altas se puede descomponer a glucosa y fructosa y, esto podría contribuir al aumento de la acrilamida (Skog y Viklund 2014).

- **Humedad:** La humedad interviene en la reacción química y el estado del sistema que incluye en la temperatura de reacción y la transferencia de calor, cuando el nivel de humedad es alto la formación de la acrilamida no es favorable, sin embargo aumenta aceleradamente cuando hay una mayor tasa de deshidratación o disminución de la humedad, lo cual se da cuando la temperatura de la superficie se eleva y comienza a secarse, esto favorece la condición para la reacción de Maillard (Paul *et al.* 2016; Fernández 2015; Skog y Viklund 2014).

- **pH:** La formación de acrilamida depende de la reacción de Maillard y ésta depende del pH del medio de reacción, el pH óptimo es 7, por debajo de este pH su formación es inhibida debido a que la reacción inicial amino-carbonilo se ve obstruida por la protonación del grupo amino inhibiendo la formación de la base Schiff (Paul *et al.* 2016; Fernández 2015, Skog y Viklund 2014).

- **Temperatura y tiempo de fritura:** La acrilamida se forma a temperaturas superiores a los 120 °C y aumenta en un rango de temperatura de 160 - 185 °C y disminuye cuando el alimento se lleva a temperaturas mayores (Jackson y Al-Taher 2010; Skog y Viklund 2014). Diferentes estudios han demostrado que el tiempo y la temperatura de fritura influyen en la formación de la acrilamida, existiendo una relación lineal con el tiempo y no lineal con la temperatura (Paul *et al.* 2016). Cuando la temperatura del aceite de la fritura es alta el alimento se deshidrata más rápido favoreciendo la formación de acrilamida (Plata 2015).

- **Tipo de aceite:** Según Paul *et al.* (2016) y Plata (2015) el tipo de aceite usado en la fritura tiene poca influencia sobre la formación de la acrilamida; sin embargo Fernández (2015),

explicó que usar aceite de palma o manteca de cerdo en la fritura, produce altos niveles de acrilamida, comparado con los aceites vegetales (ejm. girasol).

- **Actividad de agua:** La formación de acrilamida se da sólo cuando la actividad de agua está por debajo de 0.8 (Paul *et al.* 2016).
- **Aditivos:** Se ha demostrado la mitigación de la acrilamida con cationes divalentes como Ca y Mg; lo cual se explica porque los iones se unen covalentemente con la asparagina evitando la formación de la acrilamida, también se puede agregar otros aminoácidos, para producir reacciones competitivas, o agregar la enzima asparaginasa que disminuye la asparagina y por lo tanto la acrilamida (Skog y Viklund 2014).

c. Toxicidad: La acrilamida constituye un peligro químico en la cadena alimentaria (Diario oficial de la Unión Europea 2017). Según la FAO (2002) y el CODEX (2014), la acrilamida puede producir efectos cancerígenos, neurotóxicos y genotóxicos en las células somáticas y en las células germinales del ser humano, por lo tanto tiene el potencial para inducir daño a genes y cromosomas. Estudios realizados en animales de experimentación demostraron que la acrilamida aumenta la frecuencia de tumores benignos y malignos en distintos órganos, como las glándulas tiroideas y suprarrenales, es así que, debido a los resultados de experimentación con animales, la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) clasifica a la acrilamida en el grupo 2A como “probable carcinógeno en humanos” (IARC 1994); mientras que la Unión Europea lo considera en la categoría 2 como “sustancia que debe ser tratada como si fuera carcinógeno en humanos” y en la categoría 3 como “tóxico para la reproducción”. La exposición de la acrilamida en humanos se atribuye por años a la exposición en trabajos (como industria textil y de papel, procesamiento de minerales entre otros, por que utilizan poliacrilamida para su producción) y al humo del tabaco. No se ha realizado otros estudios sobre la acción cancerígena de la acrilamida en el ser humano por las normativas, sin embargo, estudios *in vitro* describen que la acrilamida produce mutaciones genéticas y alteraciones cromosómicas (CODEX 2014).

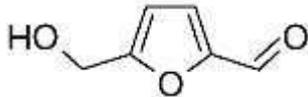
La acrilamida debido a su elevada solubilidad en agua, al ser absorbida, se distribuye por la sangre a los tejidos (incluyendo la leche y la placenta) y órganos, y como consecuencia de la acción metabólica se convierte en glicidamida, que es un epóxido genotóxico que origina aductos en el ADN, la presencia de aductos en experimentaciones sustentan un mecanismo

genotóxico de carcinogénesis de acrilamida (Navarro *et al.* 2007; CODEX 2014). En el 2015, la Comisión Técnica Científica de Contaminantes de la Cadena Alimentaria de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, basándose en estudios realizados en animales, confirma que la acrilamida presente en los alimentos puede aumentar el riesgo de padecer cáncer, en consumidores de todas las edades, siendo los niños el grupo de edad más expuesto, debido a que la acrilamida está presente en una gran variedad de alimentos cotidianos (EFSA 2015).

2.3.2. Hidroximetilfurfural

El hidroximetilfurfural o 5-hidroximetilfurfural (5-HMF, 5-hidroximetil-2-furaldehído), mas conocido por sus siglas como HMF, es un aldehído cíclico formado por la degradación de las hexosas como producto intermedio en la reacción de Maillard a partir de la deshidratación de los azúcares (caramelización), generalmente de la deshidratación de la fructosa, en medio ácido a temperaturas altas o bajas (Qi *et al.* 2018a; Castro 2018). La estructura molecular y las propiedades químicas del HMF muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Propiedades químicas y estructura molecular del hidroximetilfurfural

Propiedades químicas		Estructura molecular
Número de registro CAS	67-47-01	
Fórmula molecular	C ₆ H ₆ O ₃	
Peso molecular	126.11 g/mol	
Punto de fusión	32-34°C	
Solubilidad	Agua, alcoholes (etanol, metanol), acetato de etilo	
Máximo absorbancia	284 nm	

Fuente: Castro (2018)

El contenido de HMF en un alimento que puede depender de los componentes y del proceso, en la Tabla 5, se observa que, el mayor contenido del HMF en los alimentos fritos es en el churro con 19.5 mg/kg, seguido por las hojuelas de papa frita con 1.1 mg/kg, sin embargo en

otra investigación para este mismo producto encontraron un máximo de 9.3 mg/kg (Huang *et al.* 2019).

Tabla 5: Concentración de 5-HMF en algunos productos alimenticios

Alimento	Contenido de 5-HMF (mg/kg)
Ajo negro	208.5 – 4820
Café instantáneo	91.3 – 4100
Frutos secos	25 – 2900
Café	100 – 2186
Pan	2.2 - 87.7
Miel	0.34 - 58.8
Galleta	1.75 - 35.21
Jugo de frutas	2 – 22
Churros	19.5
Cerveza	0.2 - 9.2
Snack de maíz	3.98
Hojuelas de papa frita	0.2-1.1
Papas fritas	1.06
Papa cocida	0.04

Fuente: Lee *et al.* (2019), Álvarez (2017), López (2016)

A continuación se describirá los mecanismos de formación del HMF, los factores que influyen en su formación y aspectos de su toxicidad.

a. Mecanismos de formación del HMF: El HMF es un compuesto intermedio en la RM, su mecanismo de formación se puede dividir en dos principales vías, la primera se produce cuando el azúcar reductor se calienta en presencia de aminoácidos (reacción de Maillard) y la segunda consiste en la deshidratación térmica directa de la fructosa, sacarosa y en menor medida de glucosa en condiciones ácidas, esta reacción no requiere la presencia de grupos amino (caramelización). En la Figura 3, se observa las principales rutas de formación del 5-HMF (HMF).

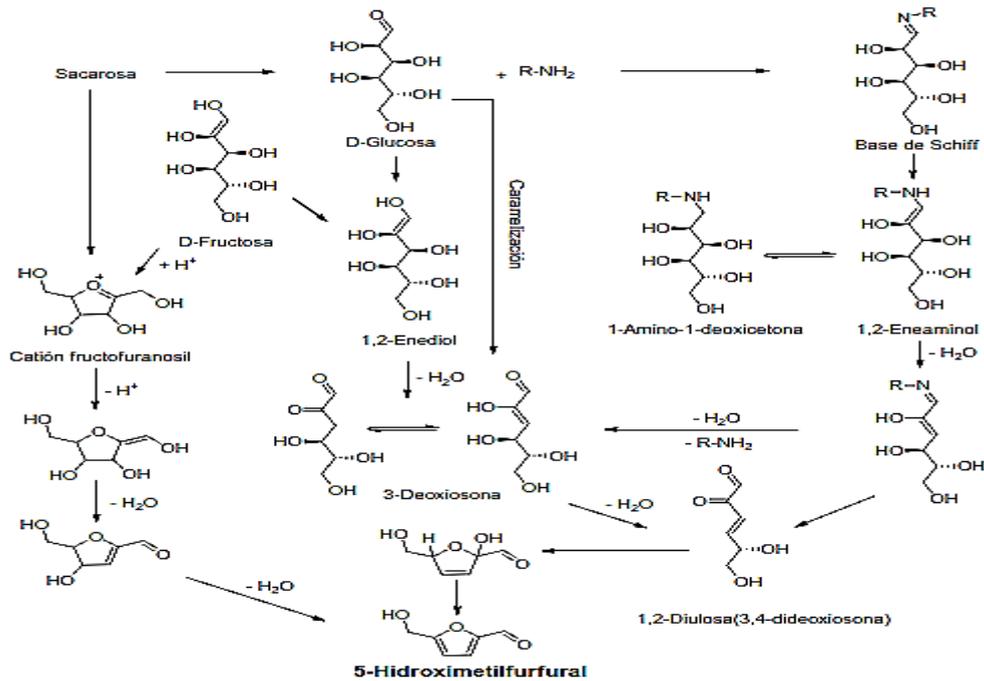


Figura 3. Principales rutas de formación del 5-hidroximetilfurfural (HMF)

Fuente: Adaptado de Pérez-Locas y Yaylayan (2008) por Capuano y Fogliano (2011)

El 5-hidroximetilfurfural (HMF) se forma por degradación del producto de Amadori, a través de una enolización siendo la 3-deoxiosona el compuesto intermedio clave para la formación del HMF. A través de la reacción de Maillard, la reacción comienza con la presencia de azúcares reductores, aminoácidos y calor, formándose una base de Schiff, posteriormente, la ciclación de la base de Schiff da como resultado la formación de productos de reordenamiento de Heyns y productos de reordenamiento de Amadori (Lee *et al.* 2019). A pH neutro o ligeramente ácido ($\text{pH} \leq 7$) el producto de Amadori se degrada a 1,2-eneaminol, el cual pierde un grupo hidroxilo en el C₃ y sufre desaminación en el C₁, la deshidratación del 1,2-eneaminol forma un compuesto intermedio denominado 3-deoxiosona, que finalmente forma 3,4-dideoxiosona, así mismo sufre ciclación y genera un hemiacetal el cual se deshidrata para formar finalmente HMF (Arribas 2013). La formación del HMF también se produce durante la caramelización (exposición de azúcares a condiciones ácidas durante un tratamiento térmico), la degradación de la fructosa forma el catión fructofuranosil y pasa a convertirse en HMF especialmente en alimentos con baja humedad. La glucosa y la fructosa también pueden formar 3-deoxiosona a través del 1,2-enediol, después ocurre una deshidratación y ciclación para la formación del HMF (Pérez-Locas y Yaylayan 2008; Capuano y Fogliano 2011).

b. Factores que afectan la formación del HMF: Los factores que influyen en la formación del HMF en los alimentos son: la concentración de monosacáridos (glucosa y fructosa) y disacáridos (sacarosa), el contenido de aminoácidos, las propiedades fisicoquímicas del medio (pH, acidez), la actividad de agua, el tratamiento térmico, presencia de cationes, el almacenamiento a largo plazo y en algunos casos el uso de contenedores metálicos, estos factores actúan como iniciadores para la formación del HMF (Jalili y Ansari 2015; Lee *et al.* 2019).

c. Toxicidad: La presencia del HMF en algunos productos alimenticios ha causado interés de estudio y preocupación por su acción mutagénica (Teixidó *et al.* 2008), actualmente hay estudios *in vivo* del efecto nocivo del HMF realizados en animales de laboratorio donde se evaluó la mutagenicidad indirecta, la transformación neoplásica, hepatóxico, nefrotóxico y reacciones alérgicas (Arribas 2013; Lee *et al.* 2019). También se ha descrito que los derivados del HMF como el 5-sulfoximetilfurfural (5-SMF) y 5-clorometilfurfural (5-CMF), tienen la capacidad de reaccionar con el ADN y otras macromoléculas, dando lugar a efectos mutagénicos, citotóxicos, genotóxicos y cancerígenos (Teixidó *et al.* 2008). En estudios con ratones tratados con HMF se ha detectado su presencia en la sangre. El 5-HMF podría tener mayor toxicidad para los humanos que en roedores, aunque aún no se encuentre alguna investigación disponible que confirme la toxicidad del HMF en humanos (Ros-Polski *et al.* 2016; Teixidó *et al.* 2008). Por otro lado Capuano y Fogliano (2011), expusieron que se demostró que el HMF es citotóxico a altas concentraciones, es irritante para el tracto respiratorio, para los ojos, membranas mucosas y la piel, la toxicidad de HMF para el cuerpo humano todavía es un tema a discutir, sin embargo, sigue siendo un tema de debate (Miao *et al.* 2013); todavía no es posible confirmar claramente la respuesta fisiológica del HMF en el cuerpo humano (Lee *et al.* 2019), los mecanismos en los cuales el HMF ejerce su genotoxicidad siguen sin estar claros (Teixidó *et al.* 2008). Por estas razones la presencia de HMF en los alimentos aumenta las posibilidades de riesgo para la salud (Arribas 2013).

2.4. LA TARA

Tara o *Caesalpinia spinosa* (nombre científico), es una de las plantas nativas del Perú. En la Tabla 6, se muestra la clasificación taxonómica de la misma. El nombre bajo el cual es conocida depende del país en el que se encuentre, por ejemplo en Perú, Bolivia, Chile y Venezuela se la conoce como tara o taya, en Colombia como divi divi de tierra fría, cuica y tara y en Ecuador como guarango, vinillo y Campeche (León 2018).

Tabla 6: Clasificación taxonómica

Rango	Nombre científico
Reino	Planta
Subreino	Tracheobionta
Superdivisión	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	<i>Caesalpinia L.</i>
Especie	<i>Caesalpinia spinosa</i> (Molina) Kuntze

Fuente: United States Department of Agriculture (USDA) (2018)

La tara, es un árbol de leguminosas, que es cultivado principalmente por los taninos que están presentes en los frutos, éstos son vainas de color naranja-amarillento con dimensiones de 10 cm de largo y 2 cm de ancho, albergan hasta 7 semillas redondas de un diámetro de 5 a 7 milímetros. La cáscara (principal fuente de taninos) representa el 62 por ciento del peso de los frutos.

2.4.1. Usos de la tara

Los taninos son los compuestos más demandados y obtenidos de la tara. La vaina es un fruto que posee una de las mayores concentraciones de taninos (entre el 40 al 60 por ciento) de entre diversos productos. Los taninos tienen diferentes usos, así se utilizan en la industria de pintura

y curtiembre (para la fabricación de cueros), en la fabricación de plásticos y adhesivos, en alimentos como clarificador de vinos, conservantes, en la industria del papel y tintes, en la industria fotográfica, etc. A partir de los taninos de la tara, se obtiene el ácido gálico, que se utiliza como antioxidante en la industria del aceite, también como blanqueante o decolorante cervecero. También la tara es empleada en medicamentos gastroenterológicos, para curar úlceras, cicatrizantes (por su astringencia), como antibacteriano, antiséptico y antiinflamatorio; siendo por ello utilizada tradicionalmente para tratar malestares de la garganta, sinusitis, heridas crónicas, dolor de estómago, entre otros (De la Oliva y Gonzales 2010; León 2018).

De las semillas, que se encuentra dentro de las vainas, se obtiene gomas, utilizada como espesante y estabilizante en la industria de alimentos (para los helados, sopas, mayonesa), harinas proteicas y otros derivados: esmaltes, jabones, pinturas, otros (De la Oliva y Gonzales 2010).

2.5. COMPUESTOS FENÓLICOS

Los compuestos fenólicos poseen un grupo hidroxilo (-OH) en uno, dos o más anillos aromáticos (anillos fenólicos) y son derivados de los fenoles comunes del tipo dihidricos o trihidricos; estos compuestos en las plantas sirven como defensa contra herbívoros y patógenos, otros como atrayentes de polinizadores; también contribuyen en la absorción de la radiación ultravioleta dañina o reduciendo el crecimiento de plantas competidoras cercanas (Harborne 1989; Taiz y Zeiger 2002; Esquivel-González *et al.* 2015).

Los compuestos fenólicos se clasifican de acuerdo a sus estructuras y al número de anillos fenólicos que presentan. En la Tabla 7, se observan la clasificación de los principales compuestos fenólicos.

Tabla 7: Clasificación de los compuestos fenólicos

Número de átomos de carbono	Estructura básica	Clase	Ejemplo
6	C ₆	Fenoles simples y benzoquinonas	Catecol, hidroxiquinona 2,6-dimetoxibenzoquinona
7	C ₆ -C ₁	Ácidos fenólicos	<i>p</i> -hidroxibenzoico, salicílico
8	C ₆ -C ₂	Acetofenonas y ácidos fenilacéticos	3-acetil-6-metoxibenzaldehido <i>p</i> -hidroxifenilacético
9	C ₆ -C ₃	Ácidos hidroxicinámicos, fenilpropanos, cumarinas, isocumarinas y cromones	Ácido cafeico, ferúlico Miristicina, eugenol Umbeliferona, aesculetina Bergenina Eugenina
10	C ₆ -C ₄	Naftoquinonas	Juglone, plumbagin
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	Xantonas	Mangiferin
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	Estilbenos y antroquinonas	Ácido lunulárico Emodin
15	C ₆ -C ₃ -C ₆	Flavonoides e isoflavonoides	Quercetina, cianidina Geneistein
18	(C ₆ -C ₃) ₂	Lignanos y Neolignanos	Pinoresinol eusiderina
30	(C ₆ -C ₃ -C ₆) ₂	Biflavonoides	Amentoflavona
N	(C ₆ -C ₃) _n	Ligninas	-
	(C ₆) ₆	Melaninas catecol	
	(C ₆ -C ₃ -C ₆) _n	Flavolanos (taninos condensados)	

Fuente: Harborne (1989)

2.5.1. Capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos

Los antioxidante, son moléculas que pueden retardar o inhibir el proceso de oxidación de los lípidos, actúan como agentes reductores, donadores de hidrógeno, bloquean al oxígeno singulete y otras moléculas impidiendo reacciones de oxidación causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas otras enfermedades, como el cáncer, enfermedades neurodegenerativas, inflamatorias y cardiovasculares (Lupo 2013; Fennema 2010). La función de los antioxidantes, no solo radica prevenir efectos adversos en las funciones fisiológicas de los humanos, si no también influye en el deterioro oxidativo de los alimentos (Coronado *et al.* 2015).

La capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos depende de la presencia de grupos hidroxilo en su estructura, a través de la inhibición de la reacción en cadena, al actuar como donadores de hidrógeno a los radicales ácido graso (R^\cdot) y a los hidroperóxidos (ROO^\cdot) o trabajando como aceptores de radicales libres (estructura química que tiene uno o más electrones no apareados), concluyendo que el aceptor de radicales libres (AH) reacciona principalmente con los radicales ROO^\cdot y no con los R^\cdot , restaurando el ácido (AH) y el hidroperóxido ($ROOH$) (Ecuación 1) (Fennema 2010; Coronado *et al.* 2015; Badui 2006).



La eficacia de un antioxidante está relacionada con numerosos factores, entre ellos la energía de activación, las constantes de velocidad, el potencial de oxidación reducción, la mayor o menor facilidad de destrucción o pérdida del antioxidante y las propiedades de solubilidad, por esto la capacidad antioxidante de los fenólicos ocupan una posición preferida, dado que son excelentes donadores de hidrógeno o electrones (Fennema 2010).

2.6. COMPUESTOS FENÓLICOS DE LA TARA

Las vainas de la tara se caracterizan por presentar un alto contenido en compuestos fenólicos ~40 – 60 por ciento (peso/peso) (De la Cruz 2004), donde se destacan la presencia de los taninos hidrolizables (especialmente galotaninos) (Chambi *et al.* 2013). Los taninos de la tara, son conocidos por su sabor amargo y astringente y se clasifican según su monómero base, por ejemplo: ácido gálico, ácido elágico, flavan-3-ol y floroglucinol; varias unidades de estos

monómeros conforman estructuras poliméricas de alto peso molecular, con diferente capacidad de unirse a proteínas, hidratos de carbono u otras macromoléculas, mediante fuerzas covalentes y no covalentes (Olivas-Aguirre *et al.* 2015).

2.6.1. Los taninos

La palabra tanino proviene del inglés *tanning*, que se utilizaba para describir al proceso para curtir pieles de animales con ciertas sustancias orgánicas. Los taninos son compuestos polifenólicos (varios anillos fenólicos), incoloros o amarillo-café, con sabor amargo y astringente, solubles en agua, alcohol y acetona, de masa molecular relativamente alta (500 a 3,000 Da) y de complejidad elevada (12-16 hidroxilos en 5-7 anillos aromáticos por cada 1,000 Da), se forman a partir de ácidos carboxílicos, ácidos fenólicos y azúcares. Químicamente son ésteres de ácido gálico o sus derivados, unidos a una amplia variedad de polioles, catequina o núcleos triterpenoides (galotaninos, elagitaninos), oligómeros o polímeros de proantocianidinas que pueden poseer diferente acoplamiento inter-flavonil u otros patrones de sustitución (Fennema 2010).

Diversos autores clasifican a los taninos en tres grupos: los no hidrolizables o condensados (de origen flavonoide, como las proantocianidinas), los hidrolizables o pirogálicos (de origen no flavonoide, como los galo- y elagitaninos) y los complejos; sus estructuras se observan en la Figura 4 (Esquivel-González *et al.* 2015; Olivas-Aguirre *et al.* 2015).

a) Taninos no hidrolizables o condensados: Los taninos condensados se forman por la polimerización de unidades flavilo con diversos grados de condensación, también contienen restos de aminoácidos y carbohidratos; existen como oligómeros solubles con 2 a 6 núcleos fenólicos, aquí también se encuentran la catequina, epicatequina, epigalocatequina (flavan-3-ol) (Porter 1989). Según Badui (2006) el término taninos condensados es incorrecto, por lo que también se les denomina protoantocianidinas o leucoantocianidinas (derivados de flavan-3,4-dioles), debido a que los taninos condensados a menudo pueden ser hidrolizados a antocianidinas coloreada por tratamiento con ácidos fuertes (Figura 4a) (Taiz y Zeiger 2002; Olivas-Aguirre *et al.* 2015; Badui 2006).

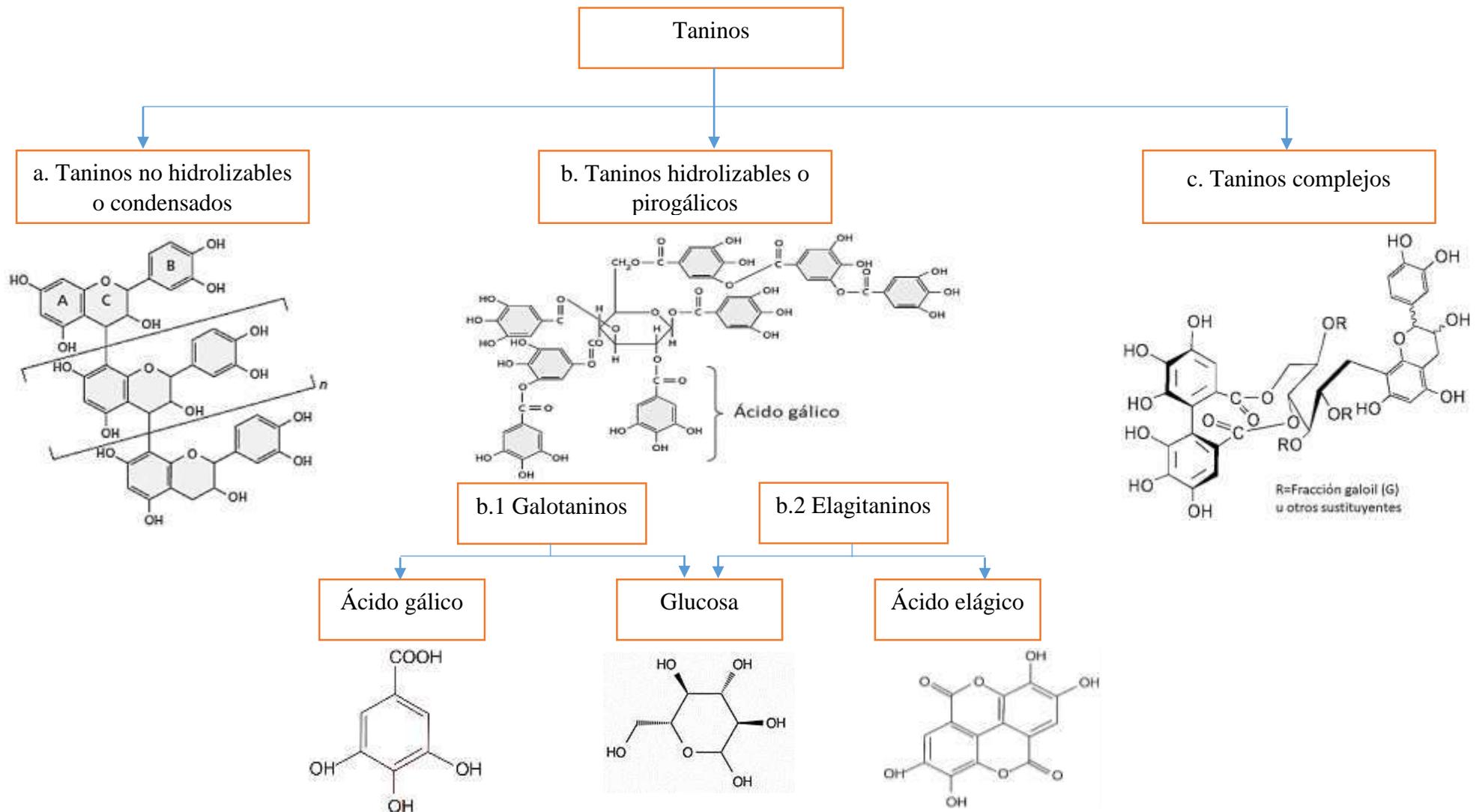


Figura 4. Clasificación de los taninos, a. Tanino condensado, donde “n” es usualmente 1 a 10 monómeros y grupo –OH, b. El tanino hidrolizable de Zumaque (*Rhus semialata*) conformado de glucosa y ocho moléculas de ácido gálico, c. Tanino complejo, conformado por 1 unidad de catequina con enlace glucosídico a un galotanino o elagitanino

Fuente: Adaptado de Khanbabaee y Van Ree (2001); Taiz y Zeiger (2002); Badui (2006)

b. Taninos hidrolizables o pirogálicos: Los taninos hidrolizables son sustancias poliméricas complejas, susceptibles a la hidrólisis por ácidos, bases o enzimas especialmente en su condición fisiológica, son polímeros heterogéneos de masa molecular de 600–3,000 siendo más pequeños que los taninos condensados, contienen azúcares simples como su núcleo glucosídico (generalmente glucosa) y en ella se unen los ácidos fenólicos, compuestos de ésteres de ácido gálico (ácido 3,4,5-trihidroxibenzoico) o el ácido elágico (4',5,5',6,6'-ácido hexahidroxidifenico-2,6,2',6'-dilactona) (Figura 4b) (Taiz y Zeiger 2002; Olivas-Aguirre *et al.* 2015). Dentro de ellos se tienen a los galotaninos y los elagitaninos.

- Galotaninos: Los galotaninos (GT) derivan de los ésteres del ácido gálico y del ácido digálico unidos entre sí por enlaces carboxilo (–COOH) de uno de ellos y el –OH del otro y a su vez unidos a hexosas como la glucosa mediante un enlace β -anomérico, pues la forma alfa no es común en la naturaleza. La β -glucogalina (1-*o*-galoil- β -d-glucopiranososa) es la forma más simple de GT y sirve como donador de su unidad galoil para la síntesis de otros GT más complejos como la β -1,2,3,4,6-Pentagaloil-*o*-Glucopiranososa (β -PGG). La diversidad estructural de los GT está determinada por: a) Cada uno de los enlaces éster que se encuentren en la molécula glucídica (para formar β -PGG) y b) Por los enlaces depsídicos (meta- o para-) dados por las unidades de ácido gálico al unirse con otra molécula de ácido gálico para formar un éster cada vez de mayor tamaño como el ácido tánico (Figura 5). Existen otros derivados de ácido gálico que, por estar unidos al ácido quínico no se agrupan dentro de los GT, sino forman parte de otro grupo denominado también taninos, los cuales son extraídos de la tara (*Caesalpinia spinosa*) (Olivas-Aguirre *et al.* 2015).

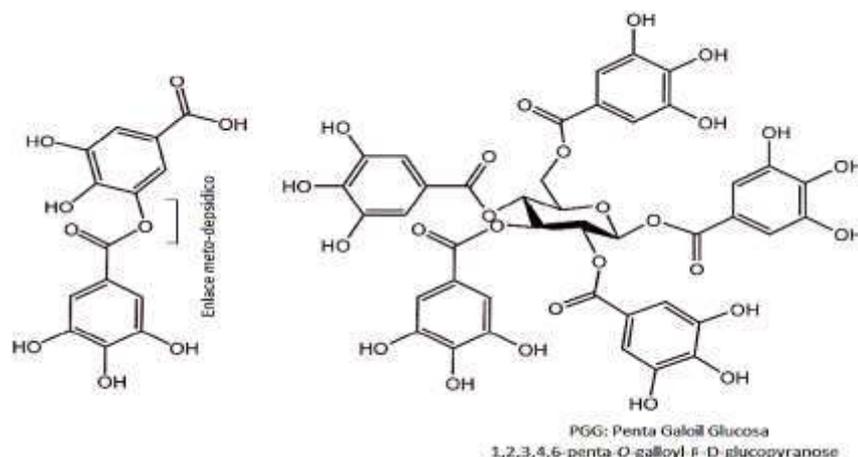


Figura 5. Enlace meta-depsídico característico en los galotaninos y estructura del penta galoil glucosa

Fuente: González *et al.* (2010)

Mediante una hidrólisis ácida o por acción de las enzimas tanasas a partir de los galotaninos de la tara se forman ácido gálico y glucosa, el ácido gálico inicial puede estar en forma de glucósido unido a la molécula de glucosa, o puede estar esterificado consigo mismo produciendo ácido di y trigálicos (Badui 2006; León 2018).

- **Elagitaninos:** Los elagitaninos derivan del ácido elágico y se forman a partir del ácido hexahidroxidifénico, el cual al ser hidrolizado se deshidrata espontáneamente para formar el ácido elágico y glucosa. La estructura de un elagitanino puede presentar diversos puntos de polimerización por esterificación, al igual que los galotaninos, tanto en la molécula glucídica como en los grupos hexahidroxifénico disponibles, lo que le da la posibilidad de formar estructuras de mayor peso molecular en comparación a los galotaninos (Olivas-Aguirre *et al.* 2015).

c. Taninos complejos: Los taninos complejos están conformados por una unidad de tanino hidrolizable (galotanino o elagitanino) y una unidad de tanino no hidrolizable (catequina) (Figura 4c) (Olivas-Aguirre *et al.* 2015).

2.7. EFECTO DE LOS COMPUESTOS FENÓLICOS EN LA MITIGACIÓN DE LA FORMACIÓN DE ACRILAMIDA E HIDROXIMETILFURFURAL

En diferentes investigaciones se ha demostrado que la mitigación de la acrilamida está relacionada con la capacidad antioxidante, concentración, condiciones de reacción y estructura del compuesto fenólico (Liu *et al.* 2015). Los compuestos fenólicos, podrían aumentar o disminuir los niveles de acrilamida dependiendo de su naturaleza y de la matriz del alimento (Kalita *et al.* 2013). Los polifenoles de las plantas tienen grupos hidroxilos y anillos aromáticos en diferentes posiciones de su estructura, proporcionándole una capacidad antioxidante indistinta (Liu *et al.* 2015), por ello los extractos fenólicos de las plantas podrían ser aplicados para mitigar la formación de la acrilamida, siendo más seguros que los antioxidantes sintéticos. En la Figura 6, se observa las posibles rutas que los polifenoles en función a su capacidad antioxidante, pueden seguir para mitigar la formación de la acrilamida, algunos pueden atrapar a los grupos carbonilos (1) o a la 3-oxopropanamida (2), otros proporcionan los grupos carbonilos (3) para la participación en la reacción de Maillard, también pueden prevenir la oxidación de los lípidos (4) y formación del ácido acrílico (5), pueden reducir la energía de activación de la conversión de 3-aminopropionamida (6), y otros polifenoles no permiten la

polimerización de la acrilamida, que inicia por calor, radicales peróxido o por sales inorgánicas, es decir, la acrilamida no se reduce por que los compuestos fenólicos actúan sobre los radicales y no permite que la acrilamida formada se polimerice (7) (Morales *et al.* 2014; Liu *et al.* 2015), esta última ruta lo explica Ou *et al.* (2010) quienes probaron 6 tipos de antioxidantes sobre un sistema modelo: tres antioxidantes resultaron estables (TBHQ, BHA y BHT) a altas temperaturas (no se oxidan fácilmente), es decir, aumentaron la capacidad antioxidante del sistema, eliminaron los radicales libres, y no permitio la polimerización de la acrilamida; los antioxidantes inestables (ácido ferúlico, galato epigallocatequina y vitamina C) a alta temperatura fueron oxidados fácilmente, al oxidarse formaron quinonas y más radicales libres que sirvieron para polimerizar la acrilamida y mitigarla. De la explicación de esta ruta se puede decir que los polifenoles tienen la capacidad de disminuir el contenido de acrilamida por dos maneras: 1) atacando el enlace alqueno de la acrilamida mediante la formación de radicales libres, y 2) reaccionando el antioxidante oxidado directamente sobre la acrilamida (Ou *et al.* 2010).

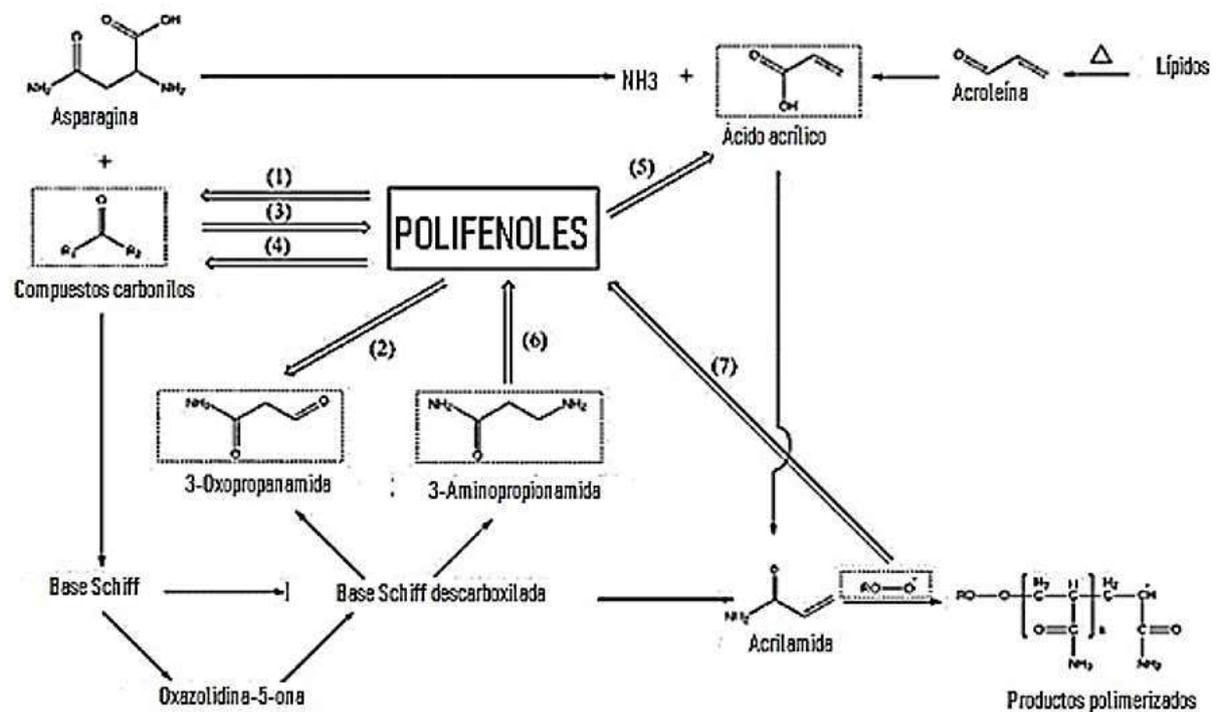


Figura 6. Posibles reacciones de los polifenoles marcados del (1) al (7), desde los productos intermedios de la acrilamida y la intervención de los polifenoles

Fuente: Liu *et al.* (2015)

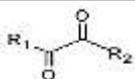
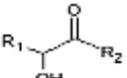
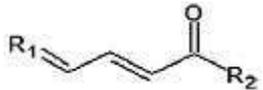
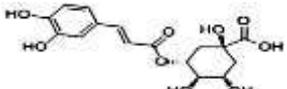
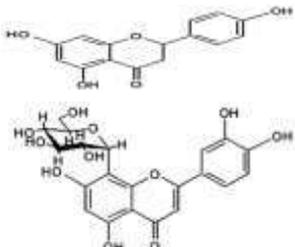
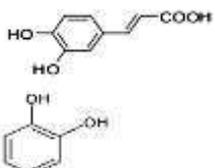
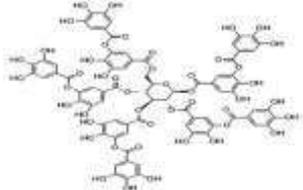
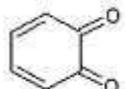
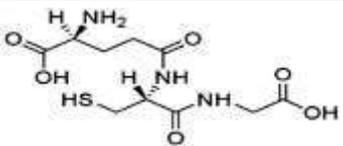
Estructuras o componentes específicos	Posible sitio de acción	Formación de la acrilamida
 <p>Grupo α-hidroxicarbonil</p>	Reacciona con la asparagina	Promueve
 <p>Grupo α-dicarbonil</p>		
 <p>Grupo $\alpha, \beta, \gamma, \delta$-Carbonil diinsaturado</p>		
 <p>Ácido clorogénico</p>	Descompone la sacarosa	Promueve
	Previene la oxidación de lípidos	Inhibe
 <p>Flavonoides y glucósidos</p>	Reaccionan con los compuestos intermedio de producidos por la reacción Maillard	Inhibe
	Previene la oxidación de lípidos	Inhibe
 <p>Ácidos fenólicos y polifenoles</p>	Previene la oxidación de lípidos	Inhibe
 <p>Taninos</p>	Precipitan la asparagina	Inhibe
 <p>Quinonas</p>	Reaccionan con los compuestos intermedio de producidos por la reacción Maillard	Inhibe
 <p>Grupos nucleófilos como grupos amino y sulfidrilos</p>	Reacción tipo adición de Michael con grupos nucleófilos	Inhibe

Figura 7. Estructuras o compuestos específicos, sitios de acción y su resultado

Fuente: Zhang y Jin (2016)

Como se puede observar en la Figura 7, los antioxidantes pueden participar en varias reacciones y provocar múltiples efectos; en la figura también se observan las estructuras fenólicas y sus sitios de acción específicos. Según Liu *et al.* (2015) y Zhang *et al.* (2016), el contenido de acrilamida depende de la variedad de antioxidantes, de sus diferentes grupos funcionales, su concentración, condiciones y tipo de reacción predominante y de la complejidad del alimento.

Por otro lado, existen investigaciones sobre la adición de compuestos fenólicos del tipo taninos, para mitigar la formación del HMF y acrilamida en alimentos, destaca el trabajo realizado en la elaboración de pan, en donde se empleó un extracto polifenólico de vaina de tara (taninos hidrolizables) para mitigar el HMF y la acrilamida, logrando mitigar su formación hasta un 85 y 90 por ciento, respectivamente, conservando los atributos sensoriales del pan (Pedreschi *et al.* 2018). El HMF también mitigó hasta en un 50 por ciento, cuando las hojuelas de papa se sumergieron en una solución a la dosis de 0.1 mg/mL de flavan-3-ol (derivados de los taninos condensados, aislado o semi-sintetizado a partir del sorgo, arándano y semilla de uva) antes del fritura (Qi *et al.* 2018), estos trabajos ponen en evidencia que los compuestos fenólicos del tipo taninos tendrían un efecto sobre la mitigación del HMF y la acrilamida en los alimentos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La presente investigación se realizó en el Instituto de Biotecnología (IBT), área de Biotecnología Industrial & Bioprocesos (BI&B) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

3.2. MATERIA PRIMA

La papa de la variedad canchan, fue adquirida del Mercado de Productores de Santa Anita (Lima), estas se almacenaron a temperatura ambiente en un lugar con poca iluminación hasta su uso. Las vainas de tara se adquirieron de un mercado local y el aceite de girasol Crisol fue adquirido de la empresa Alicorp®.

3.3. MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS

3.3.1. Materiales

- Columnas para análisis cromatográfico: Acquity UPLC® BEH C18 (2.1 x 100 mm, 1.7 µm), Atlantis® dC18 (4.6 x 150 mm, 5µm) y HSS-T3 (2.1 x 100 mm, 1.8 µm), todas ellas de la marca Waters (Waters, Irlanda); y Kinetex Hilic (2.1 x 100 mm, 1.7 µm) de la marca Phenomenex® (USA).
- Materiales de metal: gradillas, pinzas, soporte universal.
- Materiales de plástico: tubos para centrífuga, puntas para micropipeta, pizeta, jeringas, otros.
- Materiales de vidrio: probetas, balones, fiolas, frascos ámbar, matraces, vasos precipitados, tubos de ensayo, pipetas graduadas, viales, columna de vidrio de 4 cm de diámetro y 44 cm de alto, otros.
- Micropipetas de 20 – 200 µL, 100 – 1000 µL y 500 – 5000 µL (Brand, Alemania).
- Otros materiales como: filtros de 0.22 µm (Millipore, Brasil), cartuchos HLB 6cc de 200 mg (Oasis®, Irlanda), y otros necesarios para los análisis.

3.3.2. Reactivos

- Ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS) D-0550 (Sigma, USA)
- ABTS (2,2'-azinobis-(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico)) (Sigma-Aldrich, USA)
- Acetona (J.T. Baker, USA)
- Acetona (J.T. Baker, USA)
- Ácido acético glacial (Fermont, México)
- Ácido clorhídrico (J.T. Baker, México)
- Ácido fosfórico grado masa (J.T. Baker, USA)
- Acetonitrilo grado HPLC (J.T. Baker, USA)
- Ácido sulfúrico (Merck, Alemania)
- Carbonato de sodio (Merck, Alemania-J.T.Baker, USA)
- Cloruro de Sodio (Fermont, México)
- Estándar 5-Hidroximetilfurfural (53407, Sigma-Aldrich, China)
- Estándar acrilamida (23701, Sigma-Aldrich, China)
- Estándar D3-acrilamida (72334, Sigma-Aldrich, Suiza)
- Estándar L-asparagina (A0884, Sigma, USA)
- Fenol (Mallinckrodt, USA)
- Folin-Ciocalteu (Merck, Alemania)
- Hidróxido de sodio (Merck, Alemania)
- Kit de azúcares CAR10 (Sigma, USA)
- Metanol (J.T. Baker, Trinidad y Tobago)
- Metanol (grado HPLC J.T. Baker, Trinidad y Tobago)
- n-Hexano (grado HPLC J.T. Baker, USA)
- Sulfato de magnesio anhidro (Scharlau, Alemania)

3.3.3. Equipos

- Agitador magnético (CAT, modelo M6, Alemania)
- Agitador térmico (Biometra GmbH, modelo TS1, Alemania)
- Balanza analítica (Ohaus Adventurer, modelo AR2140, USA)
- Bomba de vacío (Vacuumbrand, modelo ME2C, Alemania)
- Centrífuga (Hettich, modelo Rotofix 32, Alemania)
- Centrífuga refrigerada (Eppendorf, modelo 5430R, Alemania)

- Colorímetro (Konica Minolta, modelo CR-400/410, Japón)
- Congeladora (Electrolux, modelo H300, Brasil)
- Cromatógrafo líquido de alta performance (HPLC) (Waters, modelo 2695, USA) con detector de arreglo de fotodiodos (PDA) (Waters, modelo 2996, USA)
- Cromatógrafo líquido de ultra alta performance (UHPLC®) (Thermo scientific, modelo Dionex Ultimate 3000, Alemania) acoplado a un espectrómetro de masa en tándem (MS/MS) (Thermo scientific, modelo TSQ Quantum Access Max, USA)
- Espectrofotómetro (Thermo Spectronic, modelo Genesys 10 UV, USA)
- Estufa al vacío (VWR, modelo 1400E-2, USA)
- Evaporador centrífugo (Labconco, modelo Centrivap, USA)
- Liofilizador (Labconco, modelo 117, USA)
- Molino de laboratorio (IKA, modelo A11 basic, Alemania)
- Potenciómetro (Thermo-Orion, modelo Star A211, USA)
- Refrigeradora (LG, modelo GR-482BEF, Corea)
- Rotavapor (Heidolph, modelo Laborotta 4000, Alemania)
- Selladora de bolsas (Machintek, modelo KF-300H)
- Vórtex (CAT, modelo VM2, Alemania)

3.4. MÉTODOS

3.4.1. Determinación de humedad y materia seca

Se determinó de acuerdo al método gravimétrico porcentual Método 920.151 (AOAC 2007), por pérdida de peso en estufa a presión de vacío. Se pesó aproximadamente 1 g de muestra de harina de vaina de tara o 3 g de papa en una placa, las cuales fueron puestas a secar en la estufa a una temperatura de 80 °C y 0.8 bar de vacío, hasta obtener peso constante. Los resultados de humedad se expresaron como porcentaje (por ciento) y el valor de la materia seca (por ciento) se obtuvo por la diferencia.

3.4.2. Determinación de pH

Se determinó de acuerdo con el método 981.12 (AOAC 2007). Se pesó 3 g de muestra (papa) y se mezcló con 10 mL de agua destilada libre de CO₂, el conjunto se homogenizó por 10 min, posteriormente se centrifugó a 1,520 g por 10 min, se recuperó el sobrenadante y pasó por

filtración en papel Whatman N° 1. Finalmente, se determinó en el sobrenadante el pH con el potenciómetro.

3.4.3. Determinación de acidez titulable

Se determinó por el método de titulación potenciométrica de acuerdo con el método 942.15 (AOAC 2007). Para el análisis se empleó el sobrenadante obtenido del acápite 3.4.2. La titulación se realizó con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.00884 N hasta alcanzar el pH de 8.2. Los resultados se expresaron en por ciento de acidez titulable (g ácido ascórbico/100 g de muestra fresca).

3.4.4. Determinación de sólidos solubles

Se determinó por refractometría de acuerdo con el Método 932.12 (AOAC 2007), la lectura de °Brix se realizó empleando un refractómetro de mano 0 – 32 °Brix. Para la lectura, se trituró 5 g de papa en un mortero hasta obtener una pasta, luego se procedió a prensar y filtrar la pasta para obtener solo el jugo, el mismo que pasó por centrifugación (1,520 g por 10 min). Al sobrenadante obtenido se le determinó los °Brix.

3.4.5. Determinación de azúcares reductores

Para este análisis en primer término se procedió a obtener el extracto, así se procedió a pesar 5 g de papa previamente picada, a la que se le agregó 50 mL de etanol al 70 por ciento y pasó por un licuado. El conjunto se llevó a ebullición por 10 min, luego de un enfriamiento a temperatura ambiente se centrifugó a 3,040 g por 10 min, recuperándose el sobrenadante; la torta pasó por dos extracciones más, bajo las condiciones descritas previamente. Los tres sobrenadantes se mezclaron, se filtraron y se concentraron al vacío a 60°C hasta eliminar el etanol.

La determinación de los azúcares reductores se hizo empleando el método propuesto por Miller (1959) utilizando el ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS). La reacción se realizó mezclando en un tubo de ensayo 500 µL del extracto acuoso y 3 mL de la solución del DNS, todo se homogenizó y llevó a ebullición por 5 min, posteriormente se adicionó 1 mL de sal de rochelle (tartrato de sodio y potasio al 1 por ciento) y 10 mL de agua destilada mezclándose todo en su conjunto.

Se procedió a hacer la lectura de la absorbancia en un espectrofotómetro a 550 nm. Un blanco fue considerado, donde en lugar de la muestra se usó agua destilada. Se utilizó una curva estándar de glucosa para los cálculos respectivos. Los resultados, se expresaron como g de glucosa equivalente/100 g.

3.4.6. Determinación de asparagina

La extracción de asparagina en papa fresca se determinó de acuerdo a la metodología propuesta por Koklamaz *et al.* (2014) con algunas modificaciones. Para el análisis, se pesó 2 g de papa picada a la que se añadió 10 mL de agua MilliQ, pasando luego por un licuado y posterior centrifugación a 1,520 g por 10 min, recuperándose el sobrenadante; la torta pasó por dos extracciones más con 5 mL de agua MilliQ, bajo las mismas condiciones descritas previamente, los tres sobrenadantes se juntaron. Previo al análisis por LC-MS/MS, se procedió a la limpieza de la muestra, para ello 1 mL del homogenizado se pasó por cartucho Oasis HLB de 6 cc (acondicionado previamente con metanol y agua), se descartaron las 8 primeras gotas y el resto se recolectó, se realizó una dilución 1:1 con acetonitrilo y el diluido pasó por un filtro de 0.22 µm, para luego ser analizado por LC-MS/MS.

El contenido de asparagina fue determinado por inyección en la columna cromatográfica Kinetex Hilic de 2.1 mm x 100 mm, 1.7 µm (Phenomenex®, USA). Las fases móviles fueron: solvente A: agua MilliQ con 0.15 por ciento de ácido fórmico y 15 mM de formiato de amonio y solvente B: acetonitrilo con 0.05 por ciento de ácido fórmico, con un flujo de 0.35 mL/min en modo gradiente: para el solvente B, 90 por ciento durante 1 min, a los 2 min 75 por ciento, a los 6 min 50 por ciento, después de 1 min a 90 por ciento, se mantuvo en esta condición por 5 min y el solvente A, completó las concentraciones de la fase móvil. El volumen de inyección de la muestra fue de 2 µL, la temperatura de la columna fue de 40 °C y el de la muestra de 6 °C. La detección se realizó en un espectrómetro de masas triple cuadrupolo TSQ Quantum Access Max (Thermo Scientific, CA, USA) equipado con una fuente de ionización (H-ESI) y en modo SRM (*Single Reaction Monitoring*). Los parámetros de ionización fueron los siguientes: voltaje de ionización 3.5 kV, temperatura del vaporizador 250 °C, temperatura del capilar 270 °C, presión de gas envolvente 30 (unidades arbitrarias), presión de gas auxiliar 5 (unidades arbitrarias). La asparagina se detectó como la transición m/z 133.1 > 74.4; 133.1 > 116.2, y 127.1 > 87.3, la primera transición fue utilizada para la cuantificación y las otras dos

para la confirmación del compuesto. Los resultados se expresaron como g de asparagina libre/100 g de muestra fresca. El tiempo total del análisis fue de 14 min.

3.4.7. Determinación del diámetro polar y ecuatorial

Las mediciones se hicieron en las papas empleando un vernier digital electrónico de 6" (ENKAY). A un total de 7 papas tomadas al azar, se les hizo la medición del diámetro polar (alto) y diámetro ecuatorial (ancho). Los resultados se expresaron en cm.

3.4.8. Determinación de galotaninos

Se procedió a obtener un extracto, siguiendo la metodología propuesta por Chambi (2009). Brevemente, la muestra se mezcló con acetona al 80 por ciento bajo una relación 1:100 (p/v) y se llevó a extracción por 20 h a 4 °C, pasado el tiempo se centrifugó a 1,520 g por 15 min, recuperándose el sobrenadante para luego ser concentrado al vacío a 37 °C, hasta evaporar toda la acetona. El producto obtenido reposó a 4 °C por 6 h y pasó por una nueva centrifugación (1,520 g por 15 min), obteniéndose un extracto claro sin turbidez. Una parte del extracto fue separado para cuantificar el ácido gálico libre y la otra parte fue empleado para la determinación de galotaninos. Para este ultimo análisis, se tomó 1 mL del extracto y se mezcló con 5 mL de H₂SO₄ 2 N, en un tubo el cual se cerró (tapa rosca) para asegurar el vacío, luego se llevó a una estufa para su hidrólisis a 100 °C por 26 h, pasado el tiempo los tubos se enfriaron y el contenido, fue empleado para el análisis espectrofotométrico. Las dos muestras: inicial e hidrolizada, fueron almacenadas a -20 °C hasta llegado los análisis respectivos.

Para la cuantificación de galotaninos, se empleó el ensayo de la rodanina desarrollado por Inoue y Hagerman (1988) y Salminen (2003). Para ello se tomó 1 mL de los extractos obtenidos y se hizo reaccionar 1.5 mL de rodanina al 0.667 por ciento (en metanol), se dejó en reposo por 5 min, luego se le añadió 1 mL de KOH a 0.5 N, pasados 2.5 min se llevó a 25 mL con agua destilada y se dejó en reposo bajo oscuridad por 5 min. La absorbancia de las muestras se midió a 520 nm. Un blanco fue considerado, donde en lugar de la muestra se usó agua destilada. Para los cálculos, se utilizó una curva estándar de ácido gálico previamente elaborada. Para cuantificar los galotaninos, se calculó la diferencia obtenida del valor de ácido gálico de la muestra hidrolizada (26 h a 100 °C) respecto al valor del ácido gálico libre de la muestra inicial

(antes de la hidrólisis). El contenido de galotaninos se expresó como mg AGE/g muestra en base seca (b.s).

3.4.9. Determinación de compuestos fenólicos totales

En primer lugar se obtuvo un extracto de compuestos fenólicos a partir de la harina de las vainas de tara. La harina de tara fue sometida a extracción con metanol al 80 por ciento (p/v), a una relación 1:60 (p/v), bajo agitación constante por 90 min en oscuridad; luego se centrifugó (1,520 g por 15 min) recuperándose el sobrenadante, el cual fue conservado a -20 °C hasta su análisis.

Los compuestos fenólicos totales se determinaron por el método de Folin-Ciocalteu propuesto por Singleton y Rossi (1965). La reacción se llevó a cabo en tubos de ensayo protegidos de la luz, donde se adicionó 500 µL del extracto fenólico con 250 µL del reactivo Folin-Ciocalteu 1 N y 1,250 µL de una solución de carbonato de sodio (75 g/L), se homogenizó en un vórtex y se dejó reposar por 30 min bajo oscuridad. La lectura fue realizada a 755 nm. Un blanco fue considerado, donde en lugar de la muestra se usó agua destilada. Los resultados se expresaron como mg AGE/g de muestra, a partir de una curva estándar desarrollada con ácido gálico.

3.4.10. Determinación de la capacidad antioxidante *in vitro*

La capacidad antioxidante se determinó con el método espectrofotométrico del ABTS, de acuerdo a lo descrito por Campos *et al.* (2006). Para el análisis se utilizó los extractos obtenidos de la determinación de compuestos fenólicos totales. Se hizo reaccionar 150 µL del extracto con 2,850 µL de la solución diluida de ABTS (preparada de acuerdo a Campos *et al.* 2006) bajo oscuridad, el conjunto se homogenizó en un vórtex y se llevó a agitación por 90 min. La lectura fue realizada a 734 nm. Un blanco se consideró, donde en lugar de la muestra se usó agua destilada. Los resultados se expresaron como µmol de trolox equivalente (TE)/g de muestra (b.s.), a partir de una curva estándar desarrollada con trolox. Adicionalmente, se calculó la capacidad antioxidante específica, dividiendo la capacidad antioxidante sobre el contenido de compuestos fenólicos totales, los resultados se expresaron como µmol TE/mg AGE.

3.4.11. Determinación del color

Las mediciones de color se realizaron mediante el método CIELab, calculando los valores de luminosidad (L^*), valor rojo-verde (a^*), valor amarillo-azul (b^*), el ángulo de tono (h°) el cambio de color total ($\Delta E'$), siguiendo el método descrito por Serpen y Gökmen (2009), empleando el equipo Konica Minolta (Japón). El equipo se estandarizó con una placa de cerámica blanca ($y = 93.3$; $x = 0.3161$; $y = 0.3328$) proceso que se hizo antes de cada serie de mediciones. Las mediciones de color se realizaron en seis puntos aleatorios de las hojuelas de papa frita (tres puntos por cada cara), ello para cada tratamiento. El cambio de color total ($\Delta E'$) y el ángulo de tono (h°) se calculó mediante las ecuaciones 2 y 3:

$$\Delta E' = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$h^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde: L_0^* , a_0^* y b_0^* , correspondieron a los parámetros de color CIELab de la hojuelas de papa frita control (sin adición de extractos de tara), mientras que L^* , a^* y b^* correspondieron a los parámetros de color CIELab de las hojuelas de papa frita (con los extractos de tara).

3.4.12. Determinación del contenido de acrilamida en el sistema modelo

La cuantificación de acrilamida se determinó de acuerdo a la metodología de Yuan *et al.* (2019) con algunas modificaciones. Las muestras a ser evaluadas, pasaron por un proceso de limpieza, previo análisis LC/MS-MS. Para ello 1 mL de la solución modelo que contenía 20 μL de estándar interno $\text{D}_3\text{-AA}$ (200 $\mu\text{g/mL}$), fue inyectada en un cartucho Oasis HLB de 6cc (previamente acondicionado) y eluida con agua MilliQ. La solución eluida pasó por un filtro de 0.22 μm , para luego ser evaluado en contenido de acrilamida por LC-MS/MS.

La muestra filtrada fue analizada para determinar el contenido de acrilamida empleando una columna cromatográfica HSS-T3 de 2.1 x 100 mm, 1.8 μm (Waters, Irlanda). Como fase móvil se utilizó dos solventes, solvente A: agua con 0.5 por ciento de metanol y solvente B: 0.05 por ciento de ácido fórmico a un flujo de 0.2 mL/min en modo isocrático. Se inyectó un volumen de 2 μL , la temperatura de la columna fue de 30 $^\circ\text{C}$ y de la muestra 5 $^\circ\text{C}$. La detección se realizó en un espectrómetro de masas triple cuadrupolo TSQ Quantum Access Max (Thermo

Scientific, CA, USA) equipado con una fuente de ionización de electrospray (ESI) en polaridad positiva y en modo SRM (*Single Reaction Monitoring*). Los parámetros de ionización fueron los siguientes: voltaje de ionización 3.5 kV, temperatura del vaporizador 250 °C, temperatura del capilar 270 °C, presión de gas envolvente 30 (unidades arbitrarias), presión de gas auxiliar 5 (unidades arbitrarias). La acrilamida se detectó como la transición m/z 72.15 > 53.3, mientras que la d_3 -acrilamida, como la transición m/z 75.15 > 58.3. Se construyó una curva de calibración de acrilamida en un rango de concentraciones de 0.01 a 1 $\mu\text{g/mL}$ con d_3 -acrilamida como estándar interno a una concentración de 0.1 $\mu\text{g/mL}$. Se graficó la relación de áreas acrilamida/ d_3 -acrilamida contra la concentración. Los resultados se expresaron como μg de acrilamida/kg de hojuela de papa frita. El tiempo total de la corrida fue de 7 min (el cromatograma se aprecia en el Anexo 1).

3.4.13. Determinación del contenido hidroximetilfurfural en el sistema modelo

La cuantificación de HMF, en el sistema modelo asparagina-glucosa, se determinó de acuerdo a la metodología de Huang *et al.* (2019) con algunas modificaciones. Para este análisis se empleó el cartucho Oasis HLB de 6cc, resultante de la elución de la acrilamida con agua, así el HMF fue eluido con metanol, éste pasó por un filtro de 0.22 μm , para posteriormente, ser analizado por LC/MS-MS

Para el análisis, la muestra filtrada fue inyectada en una columna cromatográfica BEH-C18 de 2.1 mm x 100 mm, 1.7 μm (Acquity UPLC®). La fase móvil estuvo compuesta por, solvente A: agua con 0.5 por ciento de metanol y 0.05 por ciento de ácido fórmico, solvente B: metanol y solvente C: acetonitrilo a un flujo de 0.25 mL/min en modo gradiente: para el solvente B, 2 por ciento durante 6 min, a los 7 min 10 por ciento, del min 8 al 12 se mantuvo en 40 por ciento, del min 13 al 20 se mantuvo en 2 por ciento; el solvente C, 2 por ciento durante 7 min, 60 por ciento por 4 min, en el min 13 desciende a 2 por ciento hasta terminar la corrida; el solvente A, completó las concentraciones de la fase móvil. Se inyectó un volumen de 2 μL , la temperatura de la columna fue de 30 °C y la de la muestra fue 6 °C. La detección se realizó en un espectrómetro de masas triple cuadrupolo TSQ Quantum Access Max (Thermo Scientific, CA, USA) equipado con una fuente de ionización electrospray (ESI) en polaridad positiva y en modo SRM (*Single Reaction Monitoring*). Los parámetros de ionización fueron los siguientes: voltaje de ionización 3.5 kV, temperatura del vaporizador 200 °C, temperatura del capilar 270 °C, presión de gas envolvente 30 (unidades arbitrarias), presión de gas auxiliar 5 (unidades

arbitrarias). El HMF se detectó como la transición m/z 127.1 > 109.2 para la cuantificación y 127.12 > 81.2, 127.13 > 53.4 para la identificación. Se construyó una curva de calibración de HMF en un rango de concentraciones de 0.025 a 1 $\mu\text{g/mL}$. Los resultados se expresaron como mg de HMF/kg de hojuela de papa frita. El tiempo total de la corrida fue de 18 min (el cromatograma se aprecia en el Anexo 1).

3.4.14. Determinación del contenido de acrilamida en hojuelas de papa frita

Para este análisis, se procedió en primer lugar a extraer la acrilamida de las hojuelas de papa frita, siguiendo la metodología propuesta por Bertuzzi *et al.* (2017) con algunas modificaciones. Brevemente, se pesó 2 g de hojuelas de papa frita molidas en un tubo de 50 mL, se añadió 5 mL de hexano, 10 mL de agua MilliQ y 10 mL de acetonitrilo y el conjunto se mezcló vigorosamente durante 1 min. Luego, se adicionó 8 g de sulfato de magnesio anhidro y 0.5 g de cloruro de sodio, todo se mezcló por 5 min, luego se retiró la fase hexano y la fase acuosa se colocó en un envase de 50 mL. El residuo sólido, fue lavado con 8 mL de acetonitrilo, se recuperó y se junto con la fase acuosa anterior y todo se llevó a un volumen de 20 mL con acetonitrilo. De este último se tomó un volumen de 4 mL, se llevó a un tubo de centrifuga de 15 mL y se evaporó el solvente a sequedad en un speed vack a 50 °C. Finalmente, se recuperó el residuo seco con 270 μL de agua MilliQ y se pasó por un filtro de 0.22 μm , para luego ser analizado por HPLC-PAD.

El contenido de acrilamida fue determinado por inyección en la columna cromatográfica Atlantis® dC18 de 4.6 mm x 150 mm, 5 μm (Waters, Ireland). Las fases móviles fueron, solvente A: agua MilliQ y solvente B: acetonitrilo al 80 por ciento, bajo un flujo de 0.7 mL/min en modo gradiente: 100 por ciento A por 8 min, de 9 a 14 min 100 por ciento B y de los 15 a 20 min 100 por ciento A. Se inyectó 25 μL de muestra, la temperatura de la columna fue de 30 °C, y la de la muestra de 6 °C. La detección se realizó mediante un detector PDA a una longitud de onda de 226 nm. Se preparó una curva de calibración de acrilamida en un rango de concentraciones de 0.1 a 2 ppm. Los resultados se expresaron como μg de acrilamida/kg de hojuela de papa frita. El tiempo total de la corrida fue de 20 min.

3.4.15. Determinación de 5-hidroximetilfurfural de las hojuelas de papa frita

La extracción del HMF de las hojuelas de papa frita se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Huang *et al.* (2019) con algunas modificaciones. Brevemente, se pesó 1 g de hojuelas de papa frita molidas en un tubo de 50 mL, se añadió 3 mL de agua MilliQ, se agitó y se dejó reposando 40 min; después se adicionó 10 mL de acetonitrilo y el conjunto se mezcló vigorosamente durante 3 min, luego, se adicionó 4 g de sulfato de magnesio anhidro y 1 g de cloruro de sodio, nuevamente todo se mezcló por 2 min, se centrifugó a 1,520 g por 5 min a 11 °C, se recuperó 5 mL de la fase acuosa en otro envase y se agregó 5 mL de hexano, todo se agitó por 1 min y se centrifugó (a 1,520 g por 5 min a 11°C). De la fase acuosa, se tomó una alícuota de 3 mL a un tubo de centrifuga de 15 mL y se evaporó el solvente a sequedad en un speed vack a 50 °C. Finalmente, se recuperó el residuo seco con 150 µL de agua MilliQ con ácido fórmico al 0.1 por ciento, se pasó por un filtro de 0.22 µm, para luego ser analizada por LC-MS/MS. El HMF se identificó y cuantificó según lo descrito en el acápite 3.4.13.

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La presente investigación consistió en cinco etapas, la primera etapa consistió en: 1) Obtención de la harina de las vainas de tara, 2) Obtención de los extractos de tara: extracto crudo de tara (sin hidrólisis) y extracto hidrolizado de tara, 3) Purificación parcial de los extractos de tara, empleando dos métodos: la partición líquido-líquido (acetato de etilo-agua) y la cromatografía de adsorción con la resina macroporosa DA-201C, 4) Evaluación de los extractos de tara purificados parcialmente aplicado en un sistema modelo asparagina-glucosa y 5) Evaluación de los extractos de tara purificados parcialmente aplicado en un sistema real (fritura de hojuelas de papa), considerando dos métodos de aplicación: la inmersión a presión atmosférica y la impregnación a presión de vacío. A continuación, se describe cada etapa.

3.5.1. Obtención de la harina de tara

Las vainas de tara pasaron por un proceso previo a la obtención de la harina; así en primer lugar se seleccionaron las vainas sanas de las defectuosas (picadas, quemada, etc.), se despepitó manualmente y las vainas se secaron a 50 °C en una estufa con aire forzado hasta llegar a un ~7 por ciento de humedad. Después, las vainas secas se molieron en un molino de cuchillas y pasó por una malla para obtener partículas finas de 4 mm y de igual tamaño, finalmente la

harina se almacenó en bolsas de polietileno a -20 °C. Al producto final se le determinó humedad, contenido de ácido gálico libre y galotaninos, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante ABTS.

3.5.2. Obtención de los extractos de tara

La extracción de los compuestos fenólicos de la harina de las vainas de tara se realizó según el método optimizado de Bravo (2010). La extracción se hizo bajo una relación harina de tara: agua de 1:60 (p/v), a 60 °C por 35 min bajo agitación constante. El conjunto se centrifugó a 1,520 g por 15 min, recuperándose el sobrenadante, para luego ser concentrado bajo vacío a 50 °C. El extracto concentrado pasó por una segunda centrifugación (1,520 g por 10 min) obteniendo una solución clara concentrada la cual fue conservada bajo oscuridad a -20 °C hasta su uso. Este producto fue denominado extracto crudo de tara (ECT).

El ECT fue llevado a una concentración 2 N de HCl, posterior a ello el ECT se sometió a una hidrólisis a 100 °C durante 4 h, luego permaneció a 4 °C por 6 h y sometido a una nueva centrifugación (1,520 g por 15 min). Este producto fue denominado extracto hidrolizado de tara (EHT). De acuerdo a Chambi *et al.* (2013), bajo las condiciones de hidrólisis señalada, se esperó alcanzar un grado de hidrólisis de ~40 por ciento con una alta actividad antirradical.

3.5.3. Proceso de purificación parcial de los extractos de tara

Se sometieron los extractos de tara (ECT y EHT) a dos procesos de purificación parcial, evaluándose dos alternativas: partición líquido-líquido y cromatografía de adsorción, ambas se describen a continuación:

a. Partición líquido-líquido

El ECT y el EHT pasaron por una purificación parcial, mediante partición líquido-líquido empleando dos líquidos inmiscibles (González *et al.* 2004). Brevemente, las soluciones acuosas ECT y EHT, independientemente se mezclaron con acetato de etilo en una relación 1:2 (v/v) en una pera de decantación, el conjunto se agitó vigorosamente para luego dejarse en reposo por 1 h, pasado ese tiempo se recuperó la fase acetato de etilo. La fase acuosa fue nuevamente sometida a la misma operación con el acetato de etilo, pero a una relación 1:1 (v/v), se procedió

a la agitación y se dejó bajo reposo en frío a 4 °C durante 12 h. Las fases acetato de etilo se mezclaron y se llevó a evaporación hasta sequedad bajo vacío a 40 °C, obteniéndose un producto en polvo. A los productos dependiendo del origen del extracto a ser purificados, se denominaron extracto crudo de tara purificado por partición líquido-líquido (ECTPL) y extracto hidrolizado de tara purificado por partición líquido-líquido (EHTPL). A ambos productos se les determinó, contenido de compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante ABTS y la capacidad antioxidante específica.

b. Cromatografía de adsorción empleando la resina DA-201C

Los extractos ECT y EHT se sometieron a purificación parcial mediante cromatografía de adsorción. Brevemente, cada extracto fue llevado a un pH de ~3.5 con ácido clorhídrico (0.1 N) e hidróxido de sodio (0.1 N) para luego pasar a través de una columna de vidrio de 44 cm de alto y 4 cm de diámetro, empacada con la resina DA-201C (previamente acondicionada con agua MilliQ). El extracto se inyectó a la columna a un flujo de 1 mL/min, luego se realizó el lavado con ~1900 mL de agua MilliQ a un flujo de 2.0 mL/min con el fin de eliminar las sustancias no adsorbidas. La elución de los compuestos fenólicos se realizó con ~2600 mL de etanol al 80 por ciento a un flujo de 2.0 mL/min. La solución de etanol se concentró bajo vacío (40 °C) hasta eliminar el etanol, el producto final acuoso pasó por un proceso de liofilización, hasta obtener un producto en polvo. A los productos obtenidos se les denominó, según el caso, extracto crudo de tara purificado por cromatografía de adsorción (ECTCA) y extracto hidrolizado de tara purificado por cromatografía de adsorción (EHTCA). A ambos productos se les determinó, contenido de compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante ABTS y la capacidad antioxidante específica.

3.5.4. Evaluación de los extractos de tara en un sistema modelo asparagina-glucosa

Para esta evaluación se siguió el procedimiento descrito por Oral *et al.* (2014) con ligeras modificaciones. El sistema modelo elegido fue la solución asparagina-glucosa, la solución se preparó utilizando asparagina y glucosa ambas a una concentración 0.1 M, disueltas en buffer fosfato (0.067 M) a un pH de 6.8. Se evaluaron los extractos purificados: ECTCA y EHTCA, ambos extractos de tara fueron disueltos en la solución modelo a diferentes concentraciones (1.25, 2.5, 5.0 y 7.5 mg AGE/mL). La reacción se llevó a cabo en tubos de vidrio (capacidad de 10 mL) cerrados herméticamente, en un baño de aceite a 160 °C por 15 min. El control que

se utilizó fue la solución tampón de asparagina-glucosa 0.1 M. Luego del tratamiento de calor, los tubos se enfriaron rápidamente con agua fría, se les adicionó 5 mL de agua MilliQ y se homogenizó. Posteriormente las muestras fueron evaluadas por el contenido de acrilamida y HMF por LC-MS/MS.

Previo a los análisis por LC-MS/MS, se procedió a la limpieza de las muestras. Para ello 1 mL de la solución de reacción que contenía 20 µL de estándar interno D₃-AA (200 µg/mL), fue pasada por cartucho Oasis HLB de 6cc (acondicionado previamente con metanol y agua) y se eluyó con agua MilliQ. La solución eluida pasó por un filtro de 0.22 µm, para luego ser evaluado en contenido de acrilamida por LC-MS/MS (acápites 3.4.11). Para el análisis del HMF, el cartucho resultante de la elución con agua MilliQ, se lavó con metanol, recuperándose el nuevo eluido, que también pasó por un filtro de 0.22 µm y posteriormente empleado en el análisis de hidroximetilfurfural por LC-MS/MS (acápites 3.4.13).

3.5.5. Evaluación de los extractos de tara para la mitigación de acrilamida en las hojuelas de papa frita

Para la ejecución de esta etapa del estudio, en primer lugar las papas fueron acondicionadas para obtener las hojuelas, para ello primero hubo una selección (eliminando las que presentaban algún indicio de deterioro), luego se agruparon aquellas que tenían tamaño uniforme, seguido del lavado con agua potable. En las papas se determinó, humedad, materia seca, pH, sólidos solubles, acidez titulable, azúcares reductores, asparagina, diámetro polar y ecuatorial. Las hojuelas se obtuvieron de un corte longitudinal a las papas de tal forma obtener hojuelas de 0.20 - 0.30 cm de espesor y ~40 mm de diámetro. Las hojuelas se lavaron con agua destilada por 15 s, para eliminar el almidón adherido a la superficie, pasaron a un secado con ayuda de un papel toalla y así estuvieron listas, para seguir con la etapa de incorporación de los extractos de tara sea por inmersión a presión atmosférica o por impregnación a presión de vacío, que pasa a detallarse a continuación.

El procedimiento de inmersión a presión atmosférica se realizó de la siguiente forma: se empleó una solución al 0.2 por ciento del ECTPL o del 0.2 por ciento del EHTPL, ambas a un pH de 7, en esta operación las hojuelas de papa se colocaron en una malla asegurando que queden separadas entre ellas, posteriormente la malla con las hojuelas fueron sumergidas en las soluciones preparadas. Los tiempos de inmersión a presión atmosférica estuvieron comprendidos entre 2 y 20 min, posterior a cada tiempo se retiraron las hojuelas, se escurrieron

por 10 min, se secaron con papel toalla (para eliminar el agua superficial) y se frieron en aceite de girasol a 180 ± 5 °C (la temperatura se controló con un termómetro laser y el termostato de la freidora) por un tiempo de ~4 min. Terminado la fritura, las hojuelas se colocaron en un papel adsorbente (para eliminar el exceso de aceite), se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se procedió a medir el color. Se preparó una muestra control, donde en lugar de los extractos de tara se empleó agua MilliQ. Finalmente, las hojuelas fueron molidas y empacadas en bolsas negras trilaminadas y almacenadas a -20 °C, hasta la determinación de acrilamida y HMF.

Para la impregnación al vacío, las papas en hojuelas fueron dispuestas de la misma forma que para la inmersión, sólo que el conjunto: recipiente con el extracto de tara más las papas colocadas en las mallas y sumergidas en el extracto, fueron dispuestas dentro de una estufa al vacío (presión de vacío 600 mm Hg), por diferentes tiempos (1 - 10 min), luego de terminado cada tiempo de exposición se quitó el vacío, y se dejó a un periodo de relajación de 10 min. Pasado ello, las papas se retiraron, escurrieron y secaron para continuar con el proceso de fritura descrito en el párrafo anterior. También se realizó un control, donde en lugar de los extractos de tara se empleó agua MilliQ. Las hojuelas de papa frita fueron analizadas en contenido de acrilamida y HMF.

Todos los análisis y tratamientos descritos fueron realizados por triplicado considerando muestras independientes en cada caso, se realizó un diseño completamente al azar, siendo los factores de estudio cada una de las variables independientes citadas en el diseño experimental.

Un esquema del diseño experimental de toda la investigación se presenta en la Figura 8.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados obtenidos de la experimentación se expresaron como el promedio \pm desviación estándar (d.e.). Para el análisis de la varianza (ANVA) se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Centurion XV.II (StatPoint Inc., Rockville, MD, USA) considerando una probabilidad de 95 por ciento de confianza, a los resultados con significancia estadística se realizó una prueba de comparación múltiple de Tuckey.

Etapas	Materia prima	Extracción	Hidrólisis química	Purificación parcial	Sistema modelo	Sistema real
Variables	<p>papa</p> <p>Harina de tara</p> <p>papa</p>	<p>Extracto crudo de tara</p>	<p>Extracto hidrolizado de tara</p>	<p>Partición líquido/líquido</p> <p>Cromatografía de adsorción</p> <p>Partición líquido/líquido</p> <p>Cromatografía de adsorción</p>	<p>Asp-Glu</p> <p>Asp-Glu</p> <p>1.25 mg AGE/mL</p> <p>2.5 mg AGE/mL</p> <p>5 mg AGE/mL</p> <p>7.5 mg AGE/mL</p>	<p>Presión atmosférica</p> <p>Presión a vacío</p> <p>Presión atmosférica</p> <p>Presión a vacío</p> <p>2 min</p> <p>5 min</p> <p>10 min</p> <p>20 min</p> <p>1 min</p> <p>2 min</p> <p>5 min</p> <p>10 min</p> <p>2 min</p> <p>5 min</p> <p>10 min</p> <p>1 min</p> <p>2 min</p> <p>5 min</p> <p>10 min</p>
	Condiciones	<p>- Vainas de tara: secado a 50 °C hasta la humedad de 7 %, pasó por molienda para obtener harina de tara con un tamaño de partícula de 4 mm.</p> <p>- papa: sin magulladuras y de tamaño uniforme</p>	<p>- Relación materia prima-solvente: 1:60 (p/v)</p> <p>- Tiempo: 35 min.</p> <p>- Temperatura: 60 °C</p>	<p>- Solución con HCl: 2N</p> <p>- Tiempo: 4 horas</p> <p>- Temperatura: 100 °C</p> <p>- Bajo estas condiciones grado de hidrólisis: 40 %</p>	<p>- Partición líquido-líquido: dos extracciones con acetato de etilo</p> <p>- Cromatografía de adsorción: pH del extracto 3.5, resina DA-201C.</p>	<p>- Sistema modelo: asparagina y glucosa 0.1 M</p> <p>- Buffer fosfato: 0.067 M</p> <p>- pH: 6.8</p> <p>- Concentraciones de los extractos: 1.25, 2.5, 5 y 7.5 mg AGE/mL</p> <p>- Solución de calentamiento: aceite</p> <p>- Temperatura del aceite: 160 °C</p> <p>- Tiempo: 15 minutos</p> <p>- Limpieza de la reacción: cartucho oasis HLB 6 cc</p>
Análisis	<p>- Harina de tara: humedad, ácido gálico libre, galotaninos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.</p> <p>- Papa: humedad, materia seca, pH, sólidos solubles, acidez titulable, azúcares reductores, asparagina, diámetro polar y diámetro ecuatorial.</p>	<p>- Compuestos fenólicos totales</p> <p>- Capacidad antioxidante ABTS</p>	<p>- Compuestos fenólicos totales</p> <p>- Capacidad antioxidante ABTS</p>	<p>- Compuestos fenólicos totales</p> <p>- Capacidad antioxidante ABTS</p> <p>- Capacidad antioxidante específica</p>	<p>- Acrilamida</p> <p>- Hidroximetilfurfural</p>	<p>- Acrilamida</p> <p>- Hidroximetilfurfural</p> <p>- Color</p>

Figura 8. Diseño experimental del estudio de mitigación de la acrilamida e HMF con extractos de tara crudo e hidrolizados purificados parcialmente

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DE TARA

La harina de tara se caracterizó evaluando los compuestos de interés para el presente estudio, cuyos resultados se exponen en la Tabla 8.

Tabla 8: Contenido de ácido gálico libre, galotaninos, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante de la harina de tara

Característica	Contenido
Humedad (por ciento)	7.11 ± 0.12
Ácido gálico libre (mg AGE/g, b.s)	40.58 ± 2.07
Galotaninos (mg AGE/g, b.s)	422.66 ± 10.17
Compuestos fenólicos totales (mg AGE/g, b.s)	356.96 ± 5.31
Capacidad antioxidante ABTS (µmol TE/g, b.s)	9850.54 ± 1083.48

Valores expresados como el promedio de tres repeticiones ± d.e.

El contenido de ácido gálico libre en la muestra fue de 40.58 mg AGE/g (b.s.) o su equivalente de 3.77 g AGE/100 g (b.h.), estos resultados son superiores a los reportados por Garro *et al.* (1997), Chambi (2009), Terán (2014) y Saavedra (2016), quienes encontraron un contenido de ácido gálico libre en harina de tara de 28.8 mg AGE/g (b.s) y de 1.74, 2.13, y 1.6 g AGE/100 g (b.h.), respectivamente; sin embargo, fue muy cercano a lo obtenido por Bravo (2010) con un valor de 46.3 mg AGE/g (b.s.). De otro lado, el contenido de los galotaninos fue de 422.66 mg AGE/g (b.s.) equivalente a 39.26 g AGE/100 g (b.h.), valores menores al reportado por Garro *et al.* (1997) con 588 mg AGE/g (b.s.) y por Chambi (2009) con 50.49 g AGE/100 g (b.h.), pero con resultado similar al encontrado por Bravo (2010) y Saavedra (2016) con un total galotaninos de 468.8 y 432.3 mg AGE/g (b.s.), respectivamente. De la Cruz (2004) indica que la harina de tara está compuesta por taninos que representan entre el 40 - 60 por ciento del peso total, destacando la presencia de taninos hidrolizables (especialmente galotaninos); esta información coincide con los resultados encontrados en este trabajo (463.24 mg EAG/g). Comparando el contenido de galotaninos con otras fuentes de plantas ricas en este compuesto, tenemos a la *Galla chinensis*, que presenta un valor más alto de 61.6 g AGE/100 g (b.h); al

respecto, diversos reportes colocan a las vainas de tara (*Caesalpinia spinosa*) como la segunda fuente más importante de galotaninos naturales. Saavedra (2016) presentó el cromatograma de un extracto fenólico obtenido de vainas de tara y observó la presencia de ácido gálico libre y una gran mayoría de derivados de éste ácido que, como señala Peñarrieta (2014) éstos corresponden a compuestos que tienen grupos hidroxilo (uno a más) y un grupo carboxílico (grupo ácido) comprendidos en un anillo aromático, característica propia de los galotaninos. Por otro lado, los galotaninos representan el 95 por ciento de los compuestos fenólicos totales que se encuentran presente en las vainas de tara, donde posiblemente el 5 por ciento restante estaría comprendido por elagitaninos, ácido gálico libre y/o otros compuestos fenólicos (Chambi *et al.* 2013).

En la Tabla 8, también se observa que los compuestos fenólicos totales de la tara fue de 356.96 mg AGE/g (b.s.) o 35.7 g AGE/100g (b.h.), si se compara este valor con resultados de otros autores, se reportan valores diferentes, lo que podría estar relacionado, con el método de extracción aplicado para la cuantificación (ejm. tipo de solvente o condiciones de extracción), la calidad de materia prima, a los factores agronómicos donde se desarrolló el cultivo (el terreno de siembra, clima, mes de recolección), entre otros (Bravo 2010 y Pedreschi *et al.* 2018). Así, el valor encontrado fue menor a lo reportado por Chambi (2009), Bravo (2010), Skowrya *et al.* (2013) y Pedreschi *et al.* (2018), con valores de 55.10 g AGE/100 g (b.h), 591.8, 467.6 y 697.9 mg AGE/g (b.s.) respectivamente. La capacidad antioxidante ABTS fue otro de los valores determinados en la harina de tara con un valor de 9,850.54 $\mu\text{mol TE/g}$ (b.s.), siendo cercano al declarado por Bravo (2010) y Skowrya *et al.* (2013) con valores de 11,300.4 y 10,170.0 $\mu\text{mol TE/g}$ (b.s.), respectivamente.

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS EXTRACTOS DE TARA

Un total de cuatro diferentes extractos de tara fueron obtenidos, de acuerdo al proceso de extracción y la purificación parcial (ver metodología experimental acápite 3.5.3), siendo éstos: extracto crudo de tara sometido a purificación parcial por partición líquido-líquido (ECTPL) o cromatografía de adsorción con resina macroporosa DA-201C (ECTCA), extracto hidrolizado de tara sometido a purificación parcial por partición líquido-líquido (EHTPL) o cromatografía de adsorción con resina macroporosa DA-201C (EHTCA); todos ellos pasaron por una caracterización en compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante ABTS y capacidad antioxidante específica, los resultados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9: Caracterización de los extractos de tara en polvo

Tipo de extracto	Purificación parcial	Compuestos fenólicos (mg AGE/g, b.s)	Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol TE/g}$, b.s)	Capacidad antioxidante específica ($\mu\text{mol TE/mg AGE}$)
Extracto crudo	Partición líquido-líquido (ECTPL)	554.33 ± 5.48^b	$13,942.49 \pm 276.16^c$	25.15 ± 0.43^c
	Cromatografía de adsorción (ECTCA)	567.10 ± 7.73^b	$14,620.81 \pm 257.05^c$	25.79 ± 0.8^c
Extracto hidrolizado	Partición líquido-líquido (EHTPL)	659.83 ± 31.67^a	$24,987.35 \pm 637.59^a$	37.96 ± 2.72^a
	Cromatografía de adsorción (EHTCA)	631.07 ± 4.75^a	$19,464.04 \pm 554.55^b$	30.84 ± 0.84^b

Valores expresados como el promedio de tres repeticiones \pm d.e. Las letras diferentes en superíndice por columna indica la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$). La tabla ANVA se encuentra en el Anexo 2.

Se observa que el ECTPL y el ECTCA presentaron valores de compuestos fenólicos totales de 554.3 y 567.0 mg AGE/g, respectivamente y capacidad antioxidante de 13,942.49 y 14,620.81 $\mu\text{mol TE/g}$, respectivamente, los cuales no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$), es de destacar que los valores tanto de compuestos fenólicos totales y de capacidad antioxidante fueron superiores al encontrado en la harina de tara (356.96 mg AGE/g y 9,850.54 $\mu\text{mol TE/g}$, respectivamente), lo que indica que se logró concentrar a los compuestos fenólicos, luego de los procesos de extracción y purificación parcial empleados. En el caso de los extractos hidrolizados purificados EHTPL y EHTCA, se observó que tanto los compuestos fenólicos totales, como la capacidad antioxidante y la capacidad antioxidante específica, se incrementaron considerablemente respecto a los valores encontrados en el extracto crudo, destacando el EHTPL (659.8 mg AGE/g, 24,987.0 $\mu\text{mol TE/g}$ y 37.96 $\mu\text{mol TE/mg AGE}$, respectivamente), así mismo, ambos valores fueron muy superiores a los encontrados en la harina de tara. Las diferencias en los valores estarían relacionadas con la composición de los compuestos fenólicos presentes en cada extracto. De acuerdo a lo señalado por Peñarrieta (2014) y Saavedra (2016), en los extractos de tara sin hidrólisis, se encontrarían presentes, principalmente galotaninos y en menor proporción ácido gálico y elagitaninos. Chambi *et al.* (2013) obtuvieron un cromatograma para un extracto de tara después de una hidrólisis química

de 4 h (las mismas condiciones de hidrólisis seguidas en el presente estudio), observando una mayor presencia de ácido gálico y la disminución de los galotaninos; al respecto Mueller-Harvey (2001) y Hagerman (2002), mencionan que después de usar un ácido fuerte y calor, se rompen los dos tipos de enlaces presentes en los galotaninos: los enlaces depsídicos y éster, siendo el primero de los enlaces más débil y cuyo rompimiento produce la separación entre el poliol (una glucosa o ácido quínico) y el grupo funcional hidroxilo de la molécula de ácido gálico, que estaba unida al poliol, quedando el ácido gálico, en una o más unidades, listo para atrapar radicales libres (Lu *et al.* 2006), el ácido gálico liberado y los posibles taninos hidrolizables restantes, muestran mayor capacidad antioxidante que los galotaninos íntactos, esto porque los grupos hidroxilo del ácido gálico que han sido liberados vía hidrólisis, están aptos para atrapar radicales libres (Mueller-Harvey 2001; Chambi *et al.* 2013).

Respecto al proceso de purificación parcial aplicado, donde se emplearon dos técnicas de purificación con características particulares, se conoce que la partición líquido-líquido se utiliza para separar compuestos en base a sus propiedades físicas y químicas, empleando líquidos inmiscibles químicamente (Yapuchura 2010), en este caso se usó el acetato de etilo, con la finalidad de provocar la migración de los compuestos fenólicos con mayor afinidad hacia este solvente, quedando en la fase acuosa impurezas afines con el agua como: azúcares, ácidos, algunos compuestos fenólicos, entre otros (Kennedy 2002); para el extracto hidrolizado, la purificación parcial tuvo por objetivo eliminar el ácido clorhídrico (González 2004) empleado en la hidrólisis química. El uso de la partición líquido-líquido con acetato de etilo para fraccionar o purificar compuestos fenólicos, ha sido empleada en diversas investigaciones, por ejemplo, Yapuchura (2010) utilizó este tipo de separación en extractos de hojas de muña e inca muña y evaluó los compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante de las dos fracciones obtenidas: fracción acetato de etilo y la fracción acuosa, obteniendo más del 70 por ciento de los compuestos fenólicos en la primera fracción; también Pacheco (2015) obtuvo las mayores concentraciones de ácido ferúlico en la fracción acetato de etilo a partir de un concentrado hidrolizado vía alcalina en el maíz y Calsin (2016) estudió la estabilidad oxidativa del aceite de soya bajo condiciones de almacenamiento y fritura, donde al aceite empleado en la fritura se le adicionó extractos antioxidantes de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) obtenidos por purificación parcial con acetato de etilo, incrementando la estabilidad oxidativa del aceite de soya. También, extractos de compuestos fenólicos obtenidos con acetato de etilo a partir de la *Ceiba pentandra* presentaron alta capacidad antioxidante, un buen efecto antiinflamatorio y antiapoptótico en la reducción del daño renal en ratas (Abouelela *et al.* 2019) y extractos de

compuestos fenólicos, obtenidos con el empleo de acetato de etilo a partir de la corteza de la raíz *Myrianthus arboreus* P. Beauv, han sido empleados con éxito para mejorar la homeostasis de la glucosa en las células hepáticas (Kasangana *et al.* 2019). Los resultados encontrados y los citados de diversas investigaciones, confieren a la partición líquido-líquido con acetato de etilo, una buena estrategia para lograr una primera etapa de purificación para los extractos fenólicos de tara. La aplicación de la cromatografía de adsorción, consiste en poner en contacto una muestra con una matriz o adsorbente (empacada en una columna) buscando que los analitos se fijen a ella; ésta cromatografía es ideal para la separación de muestras no iónicas, donde la interacción analito-matriz se da mediante fuerzas electrostáticas (Cisneros 2017). El uso de resinas como matriz de purificación ha sido empleado por Trillo (2015), quién realizó la purificación de los compuestos fenólicos, de un extracto obtenido a partir de pepa de uva que contenía catequinas y epicatequinas, obteniendo un incremento de la pureza del extracto de 16 a 78 por ciento en compuestos fenólicos totales, entre 2.5 a 14.2 por ciento en catequina y entre 1.2 a 7.4 por ciento en epicatequina.

4.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA PAPA

Se realizó la caracterización previa de la papa, en la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos de los diferentes análisis físico-químicos realizados.

La humedad de la papa canchan fue de 72.0 por ciento valor inferior al intervalo de humedad indicado por el INIA (2012) y por Contreras (2017) para esta variedad de papa con valores de 75.0 y 78.5 por ciento, respectivamente; pero es cercano al reportado por Obregón y Repo (2013), quienes al estudiar 4 variedades de papa: amarilla, peruanita, huayro y huamantanga, obtuvieron una humedad entre el 68.2 a 77.0 por ciento; así como por Yaranga (2019), quien encontró en la papa añil un contenido de 68.7 por ciento. La materia seca de la papa canchan fue de 28.0 por ciento, valor cercano al de la ficha técnica para esta variedad, encontrado entre 23.0 y 25.0 por ciento (INIA 2012) y por Contreras (2017) con valores entre 16.3 a 27.5 por ciento. De acuerdo a Pajar (2008), para obtener hojuelas de papa frita de buena apariencia, las papas deben presentar ~25 por ciento de materia seca, si es demasiado alto se obtiene hojuelas de textura dura y astillosa y si es demasiado bajo provoca las deformaciones en las hojuelas. Al respecto MINAGRI (2020), explica que para obtener hojuelas (chips) se requiere de papas de calidad con alto contenido de materia seca entre 22 al 24 por ciento y bajo contenido de azúcar; a mayor porcentaje de materia seca, no solo aumenta el rendimiento, si no que provoca

una menor absorción del aceite durante la fritura (Pajar 2008). Según los resultados la papa canchan presentó buenas características para ser destinada al proceso de fritura. INIA (2012), indica que la papa canchan es requerida en pollerías para su uso como papas fritas, debido a su calidad, sabor y versatilidad siendo una de las preferidas a nivel nacional.

Tabla 10: Características físico-química de la papa variedad canchan

Nombre	Cantidad
Humedad (por ciento)	72.0 ± 2.0
Materia seca (por ciento)	28.0 ± 2.0
pH	5.86 ± 0.1
Sólidos solubles (°Brix)	6.1 ± 0.8
Acidez titulable (por ciento)	0.29 ± 0.0
Azúcares reductores (por ciento)	0.25 ± 0.01
Asparagina (g/100g)	0.167 ± 0.0
Diámetro polar (cm)	18.16 ± 1.1
Diámetro ecuatorial (cm)	17.30 ± 0.5

Valores expresados como el promedio de tres repeticiones ± (d.e.)

El valor de pH y de acidez de la papa canchan fue de 5.86 y 0.29 por ciento respectivamente. Mayores valores de pH han sido encontrados (6.05 - 6.37) en diferentes tipos de papas a la canchan (peruanita, amarilla, huayro, huamantanga, yana chapiña y añil) (Obregón y Repo 2013; Rincon 2015; Yaranga 2019); mientras que la acidez se encuentra entre los valores determinados (0.02 y 0.3 por ciento) en diversas variedades de papa (añil, yana chapiña, peruanita, amarilla, huayro y huamantanga) (Obregón y Repo 2013; Rincon 2015; Yaranga 2019). Se puede decir que el pH de los tubérculos se encuentra en un rango de 5 a 6 (Obregón y Repo 2013), el contenido de ácidos orgánicos de la papa es variable y dependen de su estado de madurez, los tubérculos que son cosechados antes de tiempo presentan valores de acidez más bajos (Yaranga 2019). El contenido de sólidos solubles determinado fue de 6.1, similar al informado para la papa añil y yana chapiña de 6.0 y 6.07, respectivamente (Rincón 2015; Yaranga 2019). El contenido de azúcares reductores fue de 0.25 por ciento, valores entre 0.26 y 0.50 por ciento fueron determinados en otras diversas variedades de papa distintas a la canchan (Pajar 2008; Obregón y Repo 2013; Yaranga 2019). Sobre la asparagina, su contenido de asparagina fue de 0.167 g/100 g, valores entre 0.2 y 0.4 g/100 g fueron encontrados en otras variedades de papa (Amrein *et al.* 2003; Koklamaz *et al.* 2014; Belkova *et al.* 2018), pero es

bastante cercano al reportado por Plata-Gerrero *et al.* (2009), quienes al estudiar 4 variedades de papa: monalisa, bintje, agata, red pontiac, obtuvieron cantidades de asparagina entre el 0.13 a 0.17 g/100 g. El contenido de azúcares reductores y de asparagina dependen de factores agronómicos (suelo, clima, abono), la cosecha, el almacenamiento y la variedad (Obregón y Repo, 2013); es recomendado que los azúcares reductores y la asparagina, en cantidad, sean lo menos posible, por que dan lugar a reacciones químicas complejas: reacción de Maillard, entre otras, que alteran la calidad de las hojuelas de papas fritas. La papa canchan tuvo un diámetro polar y ecuatorial de 18.2 y 17.3 cm, respectivamente, mostrando una forma redondeada, tal como es descrita por el INIA (2012); la forma del tubérculo es dependiente de la variedad, por ejemplo la papa peruanita y amarilla presentan forma redondeada (Obregón y Repo 2013), pero son de menor tamaño que la canchan. Según la clasificación de los tubérculos, sea para una variedad mejorada o nativa, éstos deben cumplir con calibres o tamaños expresados en diámetro y peso, según la NTP 011.119 (2010) dentro de sus directrices se presenta los rangos de diámetros mayor y menor en función a la variedad; de acuerdo a ello y tomando en cuenta el diámetro de la papa canchan empleada en el presente estudio, ella cumple con el grado de calidad de “extra”.

Para la producción y comercialización de hojuelas de papa frita, no solo es necesario que la papa pertenezca a las variedades: capiro, yungay, mariva, tomasa, condemayta, desértica, maria bonita, taca, primavera, entre otras, que se producen por estacionalidad y tienen poca disponibilidad de semillas de calidad; por lo que se puede evaluar la posibilidad de utilizar a la papa canchan para la producción de hojuelas de papa frita como una opción a las eventuales faltas de producción de papa comercializadas con este fin.

4.4. EVALUACIÓN DE LOS EXTRACTOS DE TARA EN LA MITIGACIÓN DE ACRILAMIDA EN UN SISTEMA MODELO ASPARAGINA-GLUCOSA

Con la finalidad de evaluar el potencial efecto de los compuestos fenólicos de los extractos de tara en la mitigación de acrilamida y HMF, se decidió evaluar a los extractos ECTCA y EHTCA en sistemas compuestos por asparagina-glucosa.

a. Efecto en la mitigación de la formación de la acrilamida

El sistema modelo de asparagina-glucosa (sustratos para la formación de acrilamida) se realizó bajo condiciones de altas temperaturas en aceite (ver acápite 3.5.4) con la finalidad de observar el efecto de los extractos fenólicos antioxidantes: ECTCA y EHTCA en la mitigación de la formación de acrilamida.

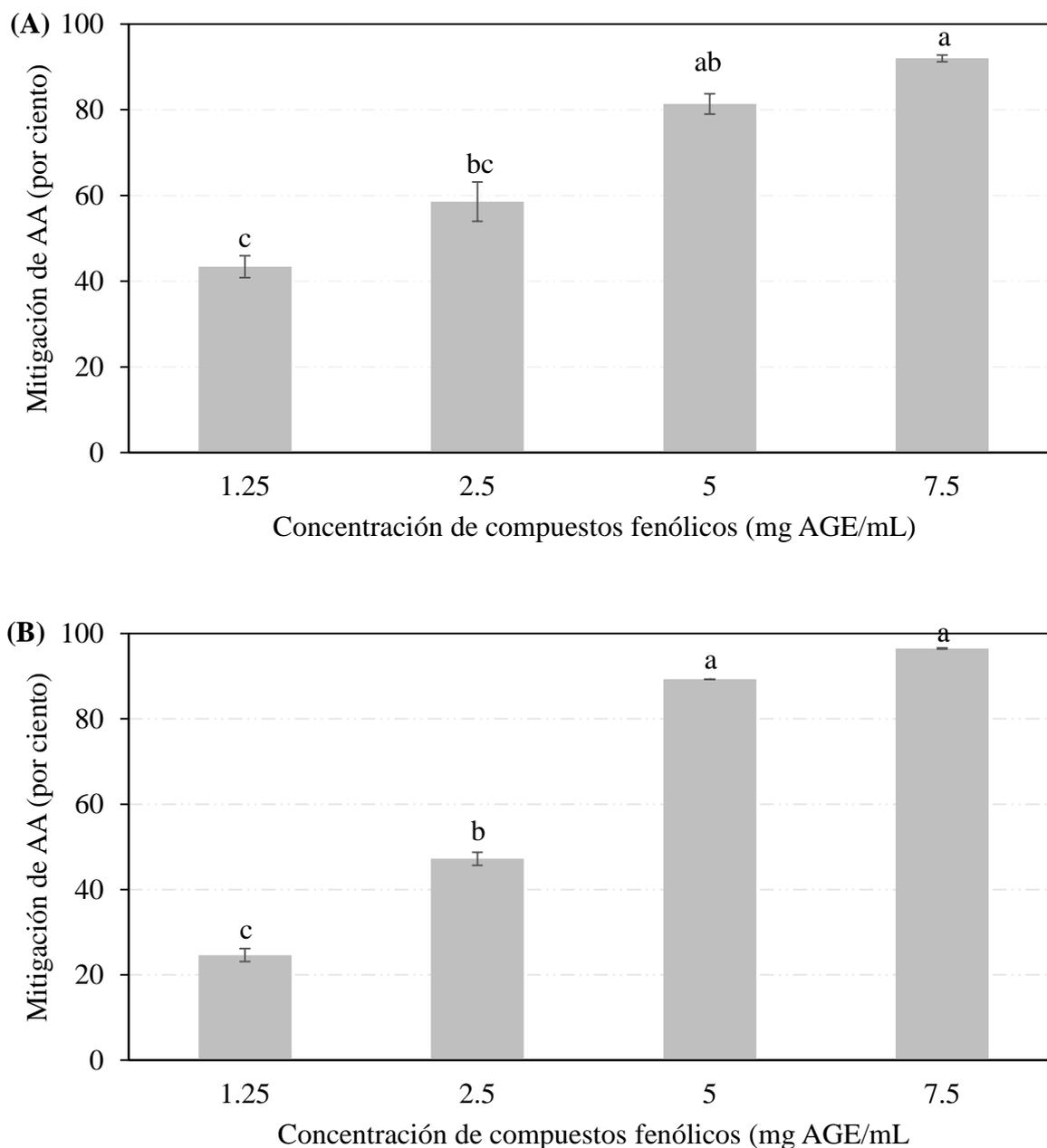


Figura 9. Mitigación de acrilamida en el sistema modelo asparagina-glucosa empleando diferentes concentraciones de galotaninos: (A) ECTCA y (B) EHTCA

Un total de 5 tratamientos fueron evaluados: un control (sin adición de los extractos antioxidantes) y cuatro tratamientos en los que se evaluó diferentes dosis de aplicación (expresadas en concentración de compuestos fenólicos), los resultados presentados como porcentaje de mitigación de acrilamida se aprecian en la Figura 9. La cantidad de acrilamida formada en el tratamiento control, sujeto al sistema modelo asparagina-glucosa fue en promedio 24 $\mu\text{g}/\text{mL}$, tomando como base este valor (como el 100 por ciento) se calculó la cantidad de acrilamida que fue mitigada (por ciento) para cada tratamiento evaluado (Figura 9). En la Figura 9A, se observa que conforme se incrementó la concentración del ECTCA, se obtuvo mayores porcentajes de mitigación de acrilamida en el medio, lo que indica que los compuestos fenólicos de la tara, fueron eficaces para impedir la formación de acrilamida presentándose diferencias significativas ($p < 0.05$) (Anexo 3) entre las concentraciones de compuestos fenólicos evaluados; así para las concentraciones de 1.25, 2.5, 5.0 y 7.5 mg AGE/mL, las cantidades de acrilamida se vieron mitigadas en 47, 59, 81 y 92 por ciento, respectivamente.

El mismo comportamiento de dependencia entre la concentración del extracto y la cantidad de acrilamida mitigada, fue observado para el EHTCA (Figura 9B), con valores de mitigación de 25, 47, 89 y 96 por ciento, para las concentraciones evaluadas de 1.25, 2.5, 5.0 y 7.5 mg AGE/mL, respectivamente. Diversos autores han demostrado la mitigación de acrilamida, utilizando compuestos fenólicos en diferentes sistemas modelos. Zhu *et al.* (2009) estudiaron el efecto de 11 compuestos fenólicos (1 mmol/mL) sobre la mitigación de acrilamida en un sistema modelo glucosa-asparagina, el ácido p-cumárico, rutina, ácido gálico y quercitina tuvieron la mayor mitigación de acrilamida con 53.4, 49.4, 47.7 y 38.4 por ciento, respectivamente. Además, Shin *et al.* (2010) evaluando el sistema modelo de asparagina-glucosa, a la temperatura de 150 °C por 30 min y utilizando a taurina y glicina (5 mg/mL), encontraron un 74 y 79 por ciento de mitigación, respectivamente. En otro estudio donde se evaluó el efecto de las flavonas (apigenina, luteolina y tricina) e isoflavonas (daidzeína, daidzina, genisteína y genistina) sobre la mitigación de la acrilamida en un sistema modelo utilizando harina de papa, se logró impedir la formación de acrilamida entre 19 a 52 por ciento (Cheng *et al.* 2015). También, Oral *et al.* (2014) utilizaron diferentes extractos y compuestos fenólicos, en un sistema modelo asparagina-fructosa para evitar la formación de acrilamida y observaron que no todos los extractos y compuestos fenólicos evaluados mostraron efectos mitigadores, en este estudio, solo el ácido elágico y las epicatequinas, a una concentración de 0.01 M, lograron mitigar la acrilamida en un 69.3 y 74.5 por ciento, respectivamente. Xu *et al.*

(2015) estudiaron en un sistema modelo con asparagina-glucosa, el efecto del uso de diferentes compuestos fenólicos a la dosis de 0.2 mg/mL de concentración, entre ellos: ácido elálgico, ácido gálico, catequina y epicatequina, logrando mitigar la formación de la acrilamida en un 80, 60, 65 y 70 por ciento, respectivamente. Qi *et al.* (2018a) evaluaron el efecto de las proantocianidinas (taninos condensados) a las concentraciones de 0.05 y 0.2 mg/mL, sobre la formación de la acrilamida empleando también como sistema modelo asparagina-glucosa, obteniendo porcentajes de mitigación del 30 y 70 por ciento, respectivamente.

Los resultados encontrados en el presente estudio y las investigaciones citadas en el párrafo anterior, responden a la posibilidad de emplear extractos fenólicos que logren evitar la formación de acrilamida, donde la intensidad alcanzada dependerá en gran medida de las características antioxidante del compuesto fenólico empleado, así como la concentración utilizada. Así los extractos de tara purificados parcialmente mediante cromatografía de adsorción, con predominancia en galotaninos (ECTCA) y en ácido gálico (EHTCA) evaluados en un sistema modelo asparagina-glucosa, ofrecen información relevante sobre sus efectos positivos en la mitigación de acrilamida formada, respuesta que está supeditada a la concentración empleada. El efecto mitigador de los compuestos fenólicos antioxidantes de tara presentes en los extractos evaluados, pudo haberse manifestado por medio de la interacción de los mismos con compuestos intermedios de la reacción de Maillard, eliminando fragmentos de radicales libres del azúcar que conducen a la formación de la acrilamida (Morales *et al.* 2014). Se ha probado que la adición de antioxidantes puede bloquear la oxidación de la 3-aminopropionamida, que es un intermediario transitorio, formada por la reacción de descarboxilación de la asparagina y que está relacionado directamente con la formación de la acrilamida (Zhang *et al.* 2008), también el antioxidante pudo actuar sobre la propia acrilamida, atrapándola directamente a alta temperatura (Xu *et al.* 2015) o sobre el aminoácido (asparagina), provocando posiblemente su precipitación (Oral *et al.* 2014; Cheng *et al.* 2015), así también los galotaninos gracias a su estructura y sus grupos funcionales, tienen la capacidad de generar reacciones diversas, que apoyarían en la mitigación (Xu *et al.* 2015).

De otro lado, se observó (Figura 9B) que EHTCA produjo una mayor mitigación respecto al ECTCA a mayores concentraciones (5 y 7.5 mg AGE/mL), lo que podría en parte estar sustentado en su capacidad antioxidante, relacionada con el número y la posición de los grupos hidroxilo de los ácidos gálico liberados luego de la hidrólisis química de los galotaninos. Al respecto Cheng *et al.* (2015), investigaron la relación que tenía el número de grupos hidroxilos

de los flavonoides y su efecto mitigador sobre la formación de acrilamida, encontrando que el poder de mitigación se correlacionó positivamente con el mayor número de grupos hidroxilo presentes en la estructura de los flavonoides. El ácido gálico tiene tres grupos hidroxilo en el anillo fenólico y esto aumenta su capacidad antioxidante, por tanto puede apoyar en mayor medida a mitigar la aparición de acrilamida (Bassama *et al.* 2010). Finalmente, Kotsiou *et al.* (2010) mencionan que no solo influye el tipo de compuesto fenólico empleado, sino también la concentración de aplicación de los mismos para lograr evitar la formación de acrilamida de forma eficiente.

b. Efecto en la mitigación de la formación del hidroximetilfurfural

El efecto mitigador de la formación del HMF por parte de los extractos de tara: ECTCA y EHTCA a diferentes concentraciones de compuestos fenólicos, considerando el sistema modelo asparagina-glucosa, también fue evaluado. Los resultados de la cantidad de HMF formado de cada tratamiento, expresada en porcentaje, se aprecian en la Figura 10.

En el tratamiento control, se determinó un valor promedio de HMF de 3.4 $\mu\text{g/mL}$, a este valor se le consideró, como un valor base inicial en la formación de este compuesto (100 por ciento de formación), en el sistema modelo evaluado. En la Figura 10A, se observa que el ECTCA, a las concentraciones entre 1.25 y 5.0 mg AGE/mL, no logra impedir la formación del HMF, presentando valores similares a del tratamiento control, no habiendo diferencias significativas entre estos tratamientos ($p > 0.05$) (Anexo 4). El uso de la concentración más alta de ECTCA (7.5 mg AGE/mL) produjo un aumento significativo de la cantidad del HMF, produciendo ~ 2.83 veces más respecto al control. Un resultado similar, se encontró para el EHTCA (Figura 10B), donde el control con los tratamientos de uso de 1.25 y 2.5 mg AGE/mL no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) (Anexo 4); mientras que el empleo de concentraciones de 5.0 y 7.5 mg AGE/mL, produjo cantidades significativamente superiores ($p < 0.05$) respecto al control, siendo ~4.2 y 11.2 veces más; siendo incluso estas cantidades muchos mas altas a las obtenidas a las mismas concentraciones evaluadas con el ECTCA. Los resultados encontrados coinciden con el estudio de Fan (2005) que evaluó un sistema modelo de azúcares (glucosa y fructosa) y ácidos orgánicos (ácido ascórbico y ácido gálico), que resultó en un incremento de furanos al utilizar buffer fosfato de sodio 50 mM a pH 7.

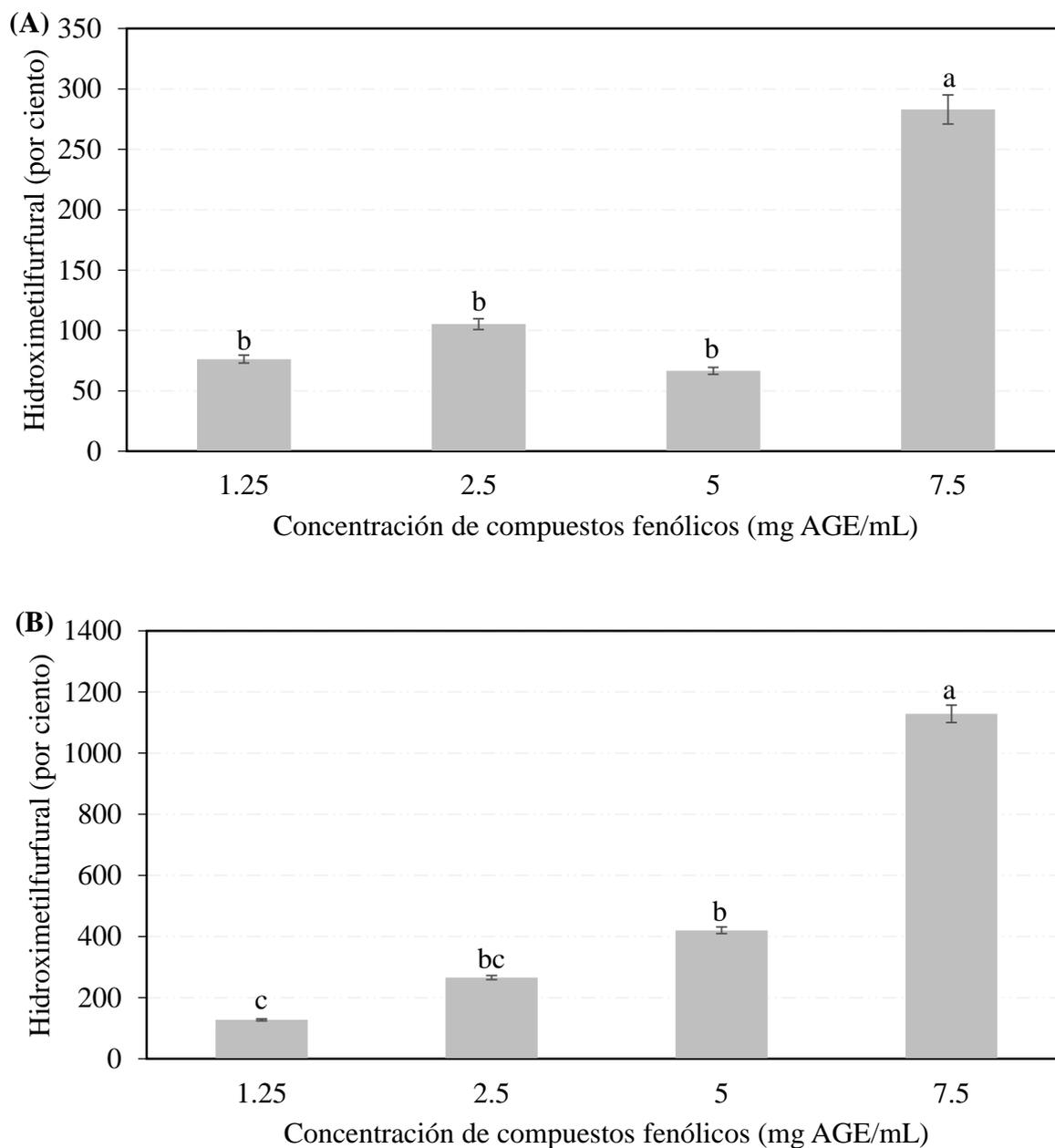


Figura 10. Cantidad de hidroximetilfurfural formado en un sistema modelo asparagina-glucosa empleando como agentes mitigadores (A) ECTCA y (B) EHTCA

Se podría indicar que la presencia del catión Na^+ en el buffer fosfato estaría influyendo en la formación del HMF, al respecto, Skog y Viklund (2014) y Wen *et al.* (2015) explicaron que la asparagina disminuye según aumenta la concentración de cationes (Ca^+ , Mg^+) en la reacción, disminuyendo la formación de acrilamida, el catión Na^+ no tiene efecto reductor en la formación de acrilamida, por otro lado, la glucosa se descompone rápidamente durante el calentamiento en presencia de cationes, provocando la formación del precursor de 3-desoxiglucosona e incrementando el HMF. Los resultados también difieren de lo reportado en

otras investigaciones trabajando con sistemas modelo. Oral *et al.* (2014) utilizaron diversos compuestos fenólicos (ácido elágico, ácido cafeico, punicalagina y epicatequina) a concentraciones de 0.001 M en un sistema modelo compuesto de glicina-glucosa y evitaron la formación de furanos totales, siendo la epicatequina, el fenólico que resultó ser más eficaz y Qi *et al.* (2018a) demostraron que la adición de flavan-3-ols mitiga la formación del HMF en más del 50 por ciento en un sistema modelo compuesto por asparagina-glucosa. Lo expuesto, explica porque ciertos compuestos fenólicos mitigan la formación del HMF, sin embargo, hay estudios que demuestran que algunos extractos de plantas y compuestos fenólicos a ciertas temperaturas pueden ya sea mitigar o aumentar la formación de aminas aromáticas heterocíclicas, acrilamida y furanos (Zhu *et al.* 2009; Oral *et al.* 2014); por ejemplo, Monti *et al.* (2001) señalan que la adición de oleuropeína (compuesto fenólico) al aceite de oliva aumentó la formación de aminas aromáticas heterocíclicas, explicando que ello es el resultado de la propiedad hidrofílica de algunos compuestos fenólicos debido a la presencia de azúcares en su estructura.

4.5. EVALUACIÓN DE LOS EXTRACTOS DE TARA PURIFICADOS PARCIALMENTE PARA LA FRITURA DE LAS HOJUELAS DE PAPA

Con los resultados encontrados en el sistema modelo, se decidió evaluar el efecto de los extractos de tara crudo e hidrolizado ambos purificados parcialmente mediante partición líquido-líquido, bajo una condición real de fritura de hojuelas de papas, considerando dos formas de aplicación: por inmersión de las papas en los extractos fenólicos y por impregnación al vacío (ver acápite 3.5.5) y determinar su efecto sobre la mitigación de acrilamida y HMF. Una sola concentración de aplicación de los extractos ECTPL y EHTPL, fue usada (2 mg/mL) en compuestos fenólicos.

a. Efecto en la mitigación de la acrilamida

Los resultados de la mitigación de acrilamida, por parte de los extractos ECTPL y EHTPL aplicados en las hojuelas de papas por inmersión a diferentes tiempos y su posterior proceso de fritura se presentan en la Figura 11.

El ECTPL aplicado bajo inmersión a presión atmosférica logró mitigar la acrilamida respecto al control (sin aplicación de antioxidantes fenólicos), entre un 20.0 y 29.2 por ciento para tiempos de inmersión entre 2 a 20 min (Figura 11A), consiguiendo la mayor mitigación a un tiempo de 5 min de inmersión de las hojuelas de papas, diferencias significativas ($p < 0.05$) solo fueron encontradas entre los tiempos de inmersión de 5 y 20 min (Anexo 5).

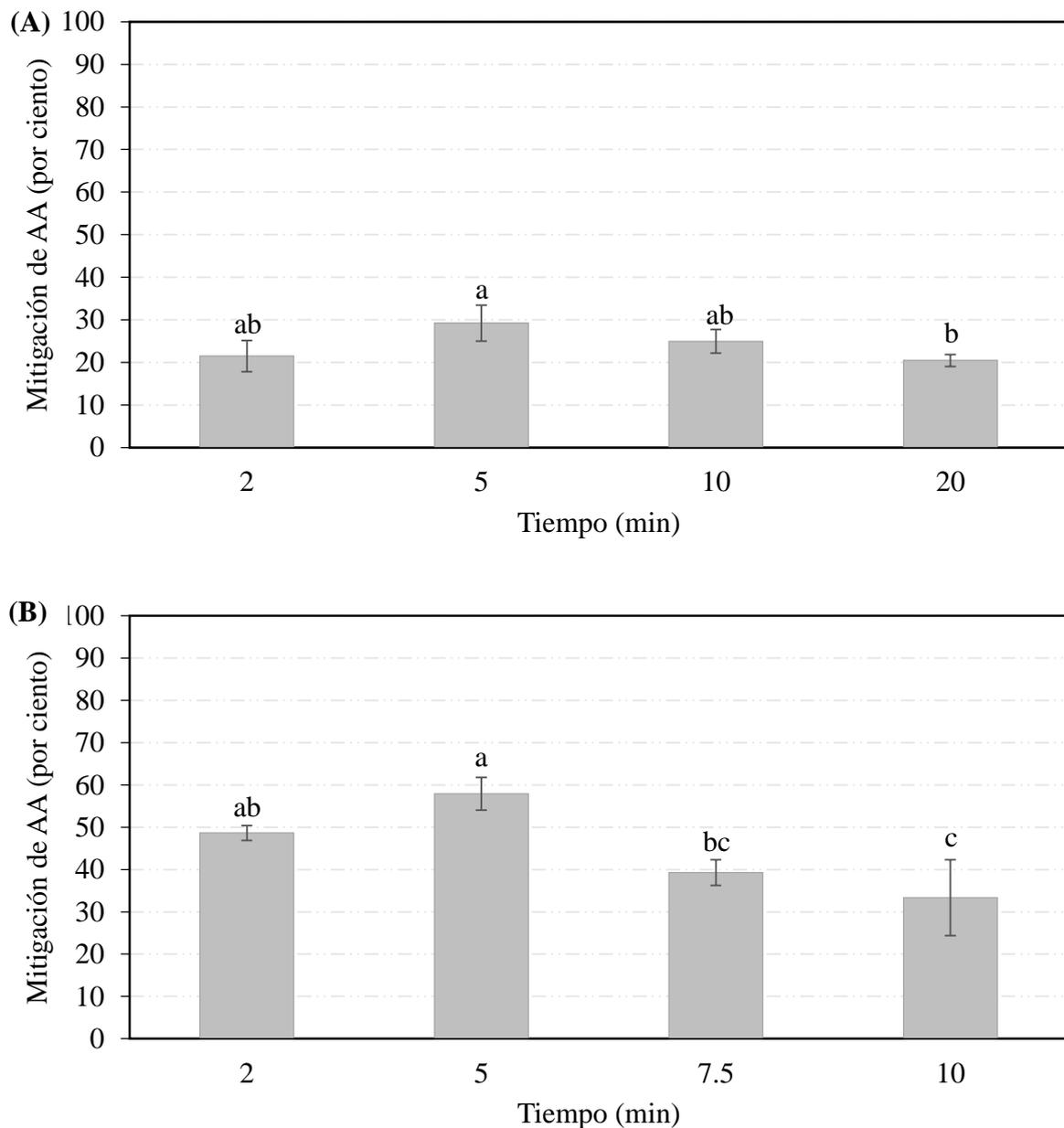


Figura 11. Mitigación de acrilamida en hojuelas de papa frita previamente sujetas a inmersión a presión atmosférica (A) ECTPL y (B) EHTPL

Evaluando el uso del EHTPL los resultados mostraron mayores porcentajes de mitigación de acrilamida, en un rango de 33.0 y 57.2 por ciento para tiempos de inmersión entre 2 y 10 min; nuevamente la inmersión de 5 min alcanzó la mayor mitigación (Figura 11B), diferencias significativas ($p < 0.05$) solo fueron encontradas entre los tiempos de inmersión de 5 y 10 min (Anexo 5). El EHTPL, mostró un mayor efecto que el ECTPL, lo que estaría justificado por la mayor capacidad antioxidante específica presentada por el primero (37.9 versus 25.2 $\mu\text{mol TE/mg AGE}$), sustentado este efecto en el tipo de compuesto fenólico presente en cada extracto.

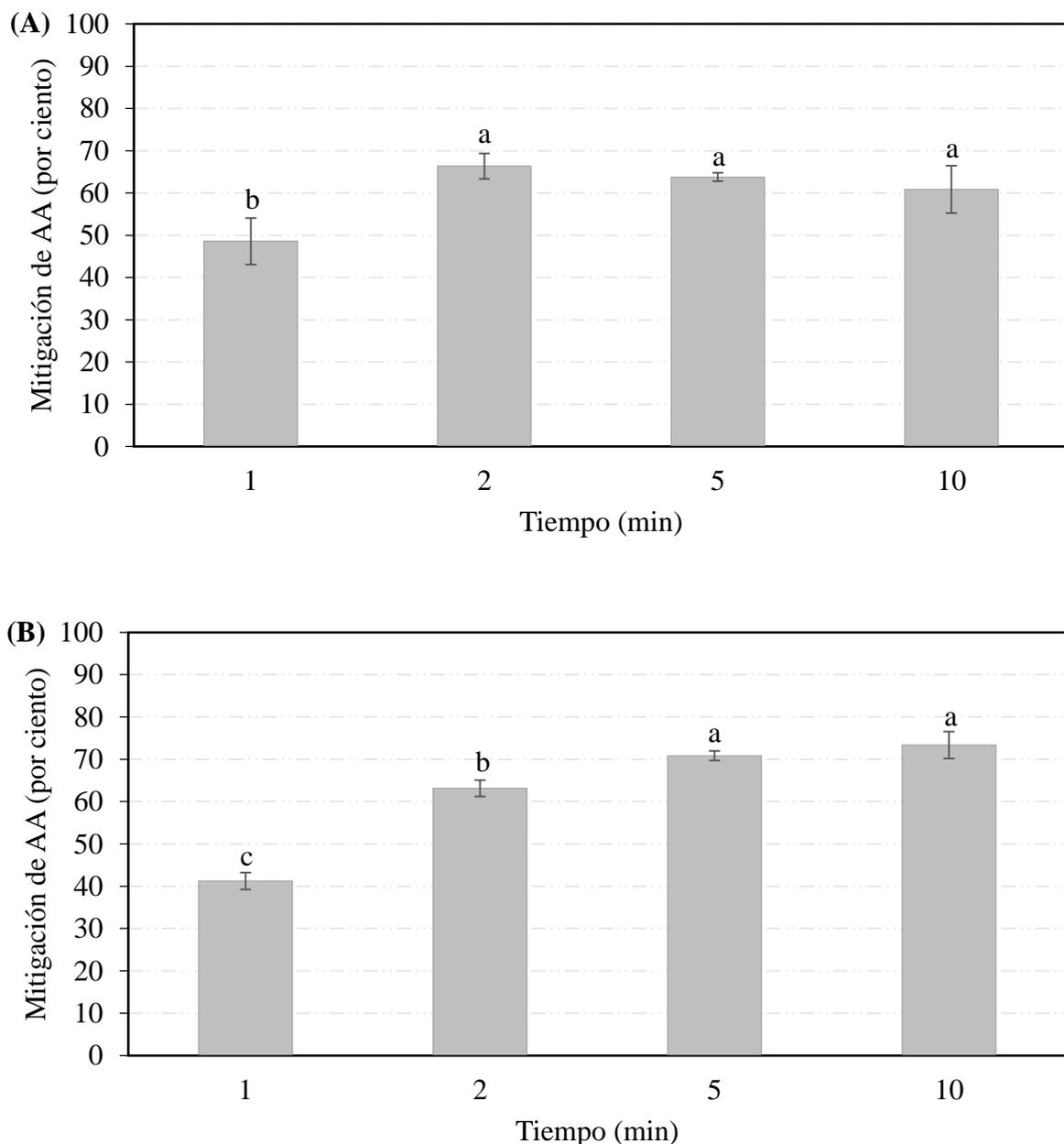


Figura 12. Mitigación de acrilamida en hojuelas de papa frita previamente sujetas a impregnación al vacío (A) ECTPL y (B) EHTPL

La misma evaluación fue realizada considerando la impregnación de los compuestos fenólicos bajo presión de vacío de los ECTPL y EHTPL en las hojuelas de papa por diferentes tiempos, previo al proceso de fritura (Figura 12). Los resultados encontrados, indican que el ECTPL logró mitigar la formación de acrilamida respecto a la prueba control entre un 49.0 y 66.0 por ciento para tiempos de impregnación entre 1 a 10 min (Figura 12A). Los mayores valores de mitigación de acrilamida se dieron entre los tiempos de 2 a 10 min (61 - 66 por ciento), no existiendo diferencias significativas entre ellos ($p > 0.05$) (Anexo 5). Al evaluar el empleo del EHTPL, se encontraron valores ligeramente mayores de mitigación de acrilamida respecto al ECTPL, siendo estos entre 63.0 y 73.0 por ciento (tiempos de 2 a 10 min) alcanzando los más altos valores para los tiempos de impregnación entre 5 y 10 min (71 - 73 por ciento), no existiendo diferencias significativas entre ellos ($p > 0.05$) (Anexo 5).

Estos resultados son muy alentadores porque actualmente no hay estudios sobre el uso de extractos de tara para mitigar la acrilamida en hojuelas de papa frita. Sin embargo, diferentes autores han informado el efecto de los compuestos fenólicos aplicados por inmersión o impregnación, sobre la formación de acrilamida en procesos de fritura, así por ejemplo, Zhang *et al.* (2007) lograron una mitigación de acrilamida del 74.1 por ciento en hojuelas de papa frita, a las que se aplicó por inmersión un extracto antioxidante de hojas de bambú (a una concentración de 0.1 por ciento) en las papas durante 1 min previo a la fritura. Shin *et al.* (2010), utilizaron una solución de taurina al 1 por ciento donde sumergieron las rodajas de papa durante 15, 30 y 60 min, y posteriormente lo sometieron a fritura, mitigando la acrilamida en ~60, 67 y 37 por ciento, respectivamente. Ahmed *et al.* (2013), encontraron que los compuestos fenólicos puros: ácido gálico, catequina, ácido ferúlico, ácido cafeico y el ácido protocatéquico aplicados a las dosis de 1:10 (p/v), mitigaron la formación de acrilamida en hojuelas de papas en 98.0, 90.9, 76.7, 73.3 y 31.8 por ciento, respectivamente. Morales *et al.* (2014) utilizaron extractos acuosos de té verde, canela y orégano, a la concentración de 0.1 por ciento para evaluar la mitigación de acrilamida en papas fritas y obtuvieron mitigaciones del 62, 39 y 17 por ciento, respectivamente. El-Shawaf *et al.* (2014) al emplear extractos de clavo de olor y romero a diferentes concentraciones (0.1, 0.2 y 0.3 por ciento) encontraron que a la concentración de 0.2 por ciento, se produjo las mayores mitigaciones de acrilamida en las hojuelas de papas fritas siendo estas de ~65.2 y 93 por ciento, respectivamente. Xu *et al.* (2015) empleando los compuestos fenólicos de la cáscara de la uva (ricos en ácido elágico) por inmersión, lograron mitigar la acrilamida en un 60.3 por ciento en las hojuelas de papa frita; también se ha constatado una mitigación de la acrilamida en hojuelas de papa frita que fueron

inmersas previamente en una solución de epicatequina al 0.1 por ciento, logrando una mitigación del 44.2 por ciento (Qi *et al.* 2018b).

Los resultados muestran que entre la inmersión a presión atmosférica y la impregnación a vacío, este último fue el mejor porque se logra introducir y fijar los compuestos fenólicos antioxidante de los extractos de tara en la estructura porosa de las rodajas de la papa. Al respecto, Duarte (2019) explica que la impregnación a vacío se usa para incorporar diferentes solutos dentro de la estructura porosa de frutas y vegetales, debido a que éstos tienen espacios intercelulares y facilita la impregnación con la solución deseada, esto se vio reflejado en un estudio conducido por Moreira y Almohaimed (2018), quienes impregnaron en hojuelas de papa compuestos fenólicos de la remolacha, y después de la fritura encontraron que el contenido de compuestos fenólicos de las hojuelas de papa fritas aumentó en comparación de las papas sin impregnar, lo que pudo deberse en parte a los compuestos fenólicos adheridos a la papa.

El efecto de los antioxidantes sobre la formación de la acrilamida sigue en investigación, sin embargo, algunos autores han publicado los posibles mecanismos, por ejemplo, Morales *et al.* (2014) explicaron que los compuestos fenólicos pueden interactuar en la reacción de Maillard, se propone que el azúcar reductor reacciona con los compuestos fenólicos que tiene capacidad antioxidante, ello tiene el efecto de captura de carbonilos reactivos y evita que el azúcar se una con la asparagina, o que los fenólicos eliminen ciertos compuestos de la descomposición de un sacárido (3-desoxiglucosona) que conduce a la acrilamida (Morales *et al.* 2014; Ciesarova *et al.* 2008). Así también, los compuestos antioxidantes pueden atrapar ciertos productos intermedios de la reacción de Maillard (glioxal, hidroxietanal, gliceraldehído) (Jin *et al.* 2013). De otro lado, la degradación de lípidos (ácidos grasos oxidados o glicerol) se da por la vía de la acroleína, Zhang *et al.* (2007) y Ciesarova *et al.* (2008) mencionan que los lípidos pueden reaccionar por oxidación generando ácido acrílico o un radical acrílico, estos compuestos intermedios en presencia de una fuente de nitrógeno y bajo condiciones de reacción favorables, induce la formación de acrilamida; así mismo, Zhang *et al.* (2007), El-Shawaf *et al.* (2014) y Morales *et al.* (2014), explican que la adición de antioxidantes podría bloquear la oxidación de lípidos y con ello mitigar la formación de acrilamida. Zhang *et al.* (2007), mencionan que la formación de la acrilamida no solo se produce a través del ácido acrílico, sino también por la 3-aminopropionamida (una base de schiff descarboxilada) y un producto Amadori descarboxilado; por ejemplo algunos autores explican que la epicatequina ejerce un efecto de

atrapamiento sobre los fragmentos de azúcar o intermediarios de 3-desoxi-2-hexosulosa y en consecuencia inhibe la formación de la acrilamida (Xu *et al.* 2015). También se ha demostrado que ciertas proantocianidinas (taninos condensados) tienen un efecto de reducción sobre la acrilamida (Zhu *et al.* 2009), la razón es que algunos tipos de fenólicos antioxidantes como los taninos, precipitan aminoácidos (asparagina) a través de su capacidad complejante o secuestrante, es decir, los taninos actúan como agentes complejantes por que tiene la capacidad de unirse a otras sustancias (como aminoácidos) formando un complejo, impidiendo que se forme la acrilamida (Shahidi y Ho 2005; Zhang y Jin 2016), es por esto que diferentes extractos que contienen taninos pueden mitigar la acrilamida de esa manera. Ahmed *et al.* (2013) utilizaron ácido ferúlico y catequina, para mitigar la formación de la acrilamida vía inhibición de la transformación de acroleína en ácido acrílico, además formarían quinonas que a altas temperaturas reaccionan con la asparagina y las aminas formadas; Cheng *et al.* (2009) demostraron que los nucleófilos fenólicos de la naringenina pueden atrapar directamente la 3-oxopropanamida para mitigar la acrilamida. Finalmente, Zhang y Jin (2016) explican que algunos antioxidantes pueden reaccionar por adición Michael sobre el doble enlace vinílico deficiente de electrones de la acrilamida formada, logrando su eliminación. Los compuestos fenólicos muestran diferentes mitigaciones, que pueden atribuirse a sus diferentes estructuras, capacidad antioxidante, así sus grupos funcionales podrían poseer una capacidad de reacción diferente con los precursores de acrilamida, intermedios de la reacción o la propia acrilamida, dando lugar a diversos efectos (Jin *et al.* 2013; Xu *et al.* 2015).

Los resultados obtenidos hasta este punto, ponen en evidencia que: 1) los extractos de tara crudo e hidrolizado, logran mitigar la formación de acrilamida en un sistema real (hojuelas de papas fritas), 2) el proceso de purificación parcial por partición líquido-líquido brinda extractos de tara que incrementan su potencial efecto mitigador frente a la formación de acrilamida, destacando el extracto hidrolizado, 3) el mecanismo de incorporación de los compuestos fenólicos de la tara influye en los resultados de mitigación, destacando el método de impregnación al vacío y 4) la calidad del extracto de tara empleado, en lo que respecta al tipo de compuesto fenólico que hay contenido en él, también impacta en los resultados, en este caso destaca el extracto hidrolizado de tara, el cual de acuerdo a trabajos previos, presenta un alto contenido de ácido gálico que respecto al extracto crudo que tiene mayor contenido de galotaninos.

b. Efecto en la mitigación de la formación del hidroximetilfurfural

En la Tabla 11, se presentan los resultados encontrados de los extractos ECTPL y EHTPL aplicados en las hojuelas de papa bajo proceso de inmersión a los tiempos de 2, 5 y 10 min, sobre la mitigación del HMF en las hojuelas de papa frita.

Tabla 11: Mitigación del hidroximetilfurfural durante la fritura de hojuelas de papa, empleando ECTPL y EHTPL aplicados por inmersión a presión atmosférica

Tipo de extracto de tara	Tiempos de inmersión (min)	Mitigación (por ciento)
Extracto crudo de tara purificados parcialmente mediante partición líquido-líquido	2	29 ± 17.9 ^a
	5	37 ± 6.3 ^a
	10	54 ± 9.8 ^a
Extracto hidrolizado de tara purificados parcialmente mediante partición líquido-líquido	2	68 ± 4.8 ^a
	5	ND
	10	34 ± 18.1 ^b

Valores expresados como el promedio de tres repeticiones ± d.e. Las letras diferentes en el superíndice por tipo de extracto representa la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$). ND: no determinado. La tabla ANVA se encuentra en el Anexo 6.

Los resultados de la Tabla 11 muestran que, a diferencia del sistema modelo asparagina-glucosa evaluado previamente, en esta prueba considerando un sistema real: fritura de hojuelas de papa, si se logró mitigar la formación del HMF al emplear ambos extractos de tara. Para el caso del ECTPL, se encuentran mitigaciones entre 29 y 54 por ciento, mientras que para el caso del EHTPL, los valores de mitigación de HMF se encontraron en un rango de 34 y 68 por ciento.

En la Tabla 12, se presentan los resultados encontrados para los extractos: ECTPL y EHTPL aplicados en las hojuelas de papa bajo proceso de impregnación a los tiempos de 2, 5 y 10 min, sobre la mitigación de HMF en las hojuelas de papa frita. Los resultados muestran para el ECTPL, mitigaciones entre 30 y 52 por ciento y para el EHTPL, los valores de mitigación se

encontraron en el rango de 23 y 59 por ciento. Para el caso del uso del ECTPL se observa que, el mayor valor de mitigación de HMF (52 por ciento) se da a los 5 min de impregnación; mientras que para el EHTPL el valor máximo se consigue entre los 5 y 10 min (55 - 59 por ciento) no habiendo diferencias significativas entre ambos tiempos ($p > 0.05$).

Tabla 12: Mitigación del hidroximetilfurfural durante la fritura de hojuelas de papa, empleando ECTPL y EHTPL aplicados por impregnación a presión de vacío

Tipo de extracto de tara	Tiempos de impregnación (min)	Mitigación (por ciento)
Extracto crudo de tara purificados parcialmente mediante partición líquido-líquido	2	30 ± 6.1 ^b
	5	52 ± 3.1 ^a
	10	37 ± 9.6 ^{ab}
Extracto hidrolizado de tara purificados parcialmente mediante partición líquido-líquido	2	23 ± 10.8 ^b
	5	55 ± 4.9 ^a
	10	59 ± 7.4 ^a

Valores expresados como el promedio de tres repeticiones ± d.e. Las letras diferentes en el superíndice por tipo de extracto representa la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$). La tabla ANVA se encuentra en el Anexo 6.

Por lo observado la adición de compuestos fenólicos bajo inmersión a presión atmosférica e impregnación a vacío en las hojuelas de papas previo a su fritura, logra alcanzar valores de ~50 por ciento de mitigación del HMF.

La información del efecto de extractos de tara sobre la mitigación de HMF en alimentos es limitado, las mayoría de investigaciones disponibles evalúan otros tipos de compuestos para la mitigación de furanos en sistemas modelos. Pedreschi *et al.* (2018) reportaron que el extracto de tara sin hidrolizar mitiga la formación del HMF en un 85 por ciento en el pan cuando se utilizó el extracto a la concentración de 3,000 mg/kg además de demostrar que el extracto no afectó los atributos sensoriales del pan, estos resultados destacaron el potencial que tienen los compuestos fenólicos de los extractos de tara; en un trabajo realizado por Qi *et al.* (2018a),

evidenciaron una mitigación del contenido de HMF en más del 50 por ciento en las papas fritas, cuando las papas fueron inmersas en una solución de flavan-3-ol (epicatequina, epicatequina galato, entre otros) a una concentración óptima de 0.1 mg/mL, los átomos de carbono C-6 y C-8 de flavan-3-ols son sitios nucleofílicos y podrían tener un efecto abductor sobre los compuestos intermedios reactivos del HMF. Zhang y An (2017) indicaron que el uso de 1.90 mg/g de quercetina mitigó la formación del HMF en 69.9 por ciento en el pan, recalcando que las concentraciones de HMF aumentan con la temperatura y el tiempo de horneado. Compuestos como la quercetina tiene un mecanismo mitigador sobre la formación de HMF, se ha propuesto que la mitigación se produce por la deshidratación intermolecular entre los átomos de hidroxilo de la quercetina y los grupos hidroxilo de los precursores de HMF (Zhang y An 2017). Por ultimo, Oral *et al.* (2014) utilizaron diversos compuestos fenólicos (ácido elágico, ácido cafeico, punicalagina y epicatequina) en un sistema modelo compuesto de glicina-glucosa, disminuyendo significativamente el contenido de furanos totales (furfural, acetilfurano y 5-metil-2-furanocarboxaldehído), siendo la epicatequina, el fenólico que resultó ser más eficaz, la epicatequina puede atrapar carbonilos y desactivar la 3-desoxiglucosona que es un precursor dentro de la reacción de Maillard para mitigar la formación del HMF.

Una propuesta de cómo se forma el HMF en los alimentos fue presentado por Locas y Yaylayan (2008) quienes explican que el proceso involucra la generación de 3-desoxiglucosona (3-DG), 3,4-didesoxiglucosona-3-eno (3,4 -DGE) y el catión fructofuranosilo, sugiriendo los autores que el 3-DG se forma a partir de la base de Schiff o de la degradación de la glucosa, formándose HMF directamente después de la deshidratación de 3-DG y 3,4-DGE o del catión fructofuranosilo; Morales *et al.* (2009) explica que el HMF se forma por dos rutas, como, 1) intermedio en la reacción de Maillard y, por la 2) deshidratación de hexosas en condiciones ácidas; Morales (2020) manifestaron no haber observado una tendencia clara en la evolución de hexosas, pudiendo ser debido a que desaparecen del medio de reacción a través de las reacciones de Maillard y la caramelización para formar HMF, los factores que afectan su formación y destino final en los alimentos siguen siendo no claros, sin embargo, un procesamiento excesivo puede provocar la presencia de ciertos compuestos tóxicos para la salud (como furanos, aminas heterocíclicas, ácidos grasos trans, entre otros) y una posible pérdida del valor nutricional.

La mitigación significativa del HMF en las hojuelas de papa frita tratadas previamente con los ECTPL y EHTPL, puede deberse a su capacidad antioxidante que disminuye los productos de

reacción de Maillard, debido a que pueden capturar los radicales libres vinculados a la formación de HMF, sin embargo, la mitigación no solo depende del tipo de antioxidante, también de la condiciones del proceso y la composición del sistema (Lee *et al.* 2019).

c. Evaluación de color

Con la finalidad de evaluar si la adición de los extractos de tara: ECTPL y EHTPL, ocasionaron un impacto visual negativo sobre el color de las hojuelas de papas fritas, se evaluaron los parámetros de color en sus valores de L^* , a^* , b^* , h° y $\Delta E'$ para los tiempos de 2, 5 y 10 min con inmersión (Tabla 13) así como impregnación (Tabla 14).

El ECTPL aplicado bajo inmersión a presión atmosférica produjo en las hojuelas de papa frita parámetros de color L^* , a^* , b^* , h° y $\Delta E'$ que no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tiempos de inmersión evaluados (Tabla 13). En general se observó que, los valores L^* alcanzados indican que las hojuelas presentan mayor tendencia a ser mas claras que oscuras (al ser mas cercanos los valores a +100); los valores a^* y b^* indican que las papas tuvieron tendencia hacia un amarillo dorado, lo cual es confirmado por los valores del ángulo h° , al presentar valores cercanos a los 90° . Así también los valores $\Delta E'$ indican que considerando todos los parámetros evaluados en su conjunto no se encuentran diferencias significativas respecto a sus tratamientos control (hojuela de papa frita sin extracto de tara) (Figura 13), siendo imperceptible al ojo humano al tener valores de $\Delta E'$ iguales a 5.

Los parámetros de color L^* , a^* , b^* , h° y $\Delta E'$ evaluando el empleo del EHTPL se muestran en la Tabla 13. Diferencias significativas ($p < 0.05$) fueron encontradas para los parámetros a^* , b^* , h° y $\Delta E'$ con valores diferentes para el tiempo de 2 min, respecto a los tiempos de 5 y 10 min (estos dos últimos no se diferenciaron). Comparando los parámetros de color de las hojuelas fritas, con la aplicación del ECTPL y del EHTPL, se observa que los valores son relativamente cercanos; encontrándose también una tendencia hacia el claro y de tonalidad amarilla dorada con el uso del EHTPL. Al comparar mediante fotos los colores de las papas fritas (Figura 14), se observa que las hojuelas fritas que pasaron por inmersión de 2 min, muestran colores cercanos a su control (más bajo valor $\Delta E' = 1.81$); mientras que las hojuelas inmersas por 5 y 10 min, presentaron tonalidades ligeramente opacas respecto al control (valores más altos de $\Delta E'$: 6.56 y 6.84), siendos mayores a los obtenidos por el ECTPL.

Tabla 13: Valores L, a*, b*, C*, h° y ΔE' de las hojuelas de papas fritas, previa inmersión atmosférica en ECTPL y EHTPL

Tipo de extracto de tara	Tiempos de inmersión (min)	L*	a*	b*	h°	ΔE'
Extracto crudo de tara purificados parcialmente mediante partición líquido-líquido	2	69.68 ± 1.94 ^a	2.95 ± 1.48 ^a	27.55 ± 1.28 ^a	84.41 ± 2.8 ^a	5.95 ± 2.0 ^a
	5	69.10 ± 0.20 ^a	1.74 ± 0.18 ^a	27.39 ± 0.24 ^a	86.75 ± 0.4 ^a	4.72 ± 0.6 ^a
	10	68.92 ± 1.27 ^a	0.78 ± 0.46 ^a	27.36 ± 0.88 ^a	88.53 ± 0.8 ^a	5.47 ± 0.9 ^a
Extracto hidrolizado de tara purificados parcialmente mediante partición líquido-líquido	2	68.08 ± 1.65 ^a	3.46 ± 0.66 ^a	32.04 ± 1.04 ^a	84.01 ± 1.3 ^b	1.81 ± 0.7 ^b
	5	68.73 ± 1.29 ^a	0.22 ± 0.21 ^b	25.44 ± 1.31 ^b	89.64 ± 0.8 ^a	6.30 ± 1.1 ^a
	10	71.09 ± 0.17 ^a	-0.40 ± 0.26 ^b	26.28 ± 0.19 ^b	90.49 ± 1.1 ^a	6.84 ± 0.1 ^a

Valores expresados como el promedio de tres repeticiones ± d.e. Las letras diferentes en el superíndice por tipo de extracto representa la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$). La tabla ANVA se encuentra en el Anexo 7.

(A)



(a)



(B)



(b)



(C)



(c)



Figura 13. Imágenes de hojuelas de papa frita previamente sujetas a inmersión en agua (A, B y C, respectivamente) y en ECTPL (a, b y c, respectivamente) por 2, 5 y 10 min

(A)



(a)



(B)



(b)



(C)



(c)



Figura 14. Imágenes de hojuelas de papa frita previamente sujetas a inmersión en agua (A, B y C, respectivamente) y en EHTPL (a, b, y c, respectivamente) por 2, 5 y 10 min

La misma evaluación del color en las hojuelas de papas fritas, fue realizada considerando la impregnación bajo presión de vacío con ECTPL y EHTPL a tiempos de 2, 5 y 10 min. Los resultados encontrados, indican que el ECTPL produjo parámetros de color L^* , a^* , b^* , h° y $\Delta E'$ con valores mostrados en la Tabla 14. Diferencias significativas ($p < 0.05$), se encontraron solo en el parámetro b^* entre el tiempo de 10 min respecto a los tiempos de 2 y 5 min de impregnación, no habiendo diferencias entre los dos últimos tiempos ($p > 0.05$) (Tabla 14); mientras que para los parámetros de L^* , a^* , h° y $\Delta E'$, no existió diferencias significativas entre ellos ($p > 0.05$) para los diferentes tiempos de impregnación evaluados. Cambios no muy resaltantes se encontraron para los parámetros de color medidos, con la aplicación del ECTPL bajo inmersión y bajo impregnación, destacando en todo momento la tonalidad con tendencia hacia el amarillo dorado. Los valores $\Delta E'$ similares entre los diferentes tiempos de impregnación nos indican que los cambios respecto a las muestras control no fueron muy distantes (Figura 15) y no percibidos a simple vista (valores de $\Delta E' = 5$).

Al evaluar la aplicación del EHTPL, se determinaron los parámetros de color L^* , a^* , b^* , h° y $\Delta E'$ con valores expuestos en la Tabla 14. Diferencias significativas ($p < 0.05$), se encontraron para los parámetros L^* , a^* , b^* y h° entre todos los tiempos de impregnación, no existió diferencias para el parámetro $\Delta E'$ a los diferentes tiempos ($p > 0.05$) (Tabla 14). De acuerdo al rango de valores obtenidos, se observa que el parámetro de luminosidad L^* para el EHTPL, alcanzó valores menores al encontrado en el ECTPL, indicando un color con tendencia a ser menos claro, de otro lado los valores de a^* , b^* y h° indican su acercamiento hacia el color amarillo. Los valores de $\Delta E'$ no tuvieron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tiempos de impregnación, sin embargo, los valores fueron superiores ($\Delta E'$ mayor a 5) en comparación con los otros tratamientos evaluados y respecto a sus controles, esta característica es notoria al observar la Figura 15, donde es saltante la opacidad en las muestras fritas para todos los tiempos de impregnación evaluados, esto en parte indicaría que los compuestos fenólicos se impregnaron en las papas o tal vez la generación de nuevos compuestos, producto de la temperatura asociada a la fritura.

Tabla 14: Valores L*, a*, b*, C*, h° y ΔE' de las hojuelas de papas fritas, previa impregnación a presión de vacío en ECTPL y EHTPL

Tipo de extracto de tara	Tiempos de impregnación (min)	L*	a*	b*	h°	ΔE'
Extracto crudo de tara purificados parcialmente mediante partición líquido-líquido	2	71.69 ± 1.60 ^a	-0.42 ± 0.14 ^a	24.24 ± 0.52 ^{ab}	91.02 ± 0.4 ^a	5.04 ± 1.9 ^a
	5	72.36 ± 1.87 ^a	-0.44 ± 0.37 ^a	23.12 ± 1.03 ^b	89.82 ± 1.4 ^a	5.26 ± 2.6 ^a
	10	71.35 ± 1.44 ^a	-0.25 ± 0.13 ^a	27.03 ± 2.03 ^a	90.06 ± 1 ^a	3.73 ± 1.5 ^a
Extracto hidrolizado de tara purificados parcialmente mediante partición líquido-líquido	2	63.95 ± 0.47 ^a	0.47 ± 0.29 ^c	23.59 ± 0.42 ^{ab}	88.84 ± 0.7 ^a	10.79 ± 2.3 ^a
	5	62.65 ± 0.80 ^{ab}	1.22 ± 0.10 ^b	22.82 ± 0.78 ^b	86.97 ± 0.2 ^b	14.50 ± 0.6 ^a
	10	60.86 ± 1.42 ^b	2.09 ± 0.04 ^a	24.40 ± 0.44 ^a	85.12 ± 0.2 ^c	13.56 ± 3.5 ^a

Valores expresados como el promedio de tres repeticiones ± d.e. Las letras diferentes en el superíndice por tipo de extracto representa la existencia de diferencias significativas ($p < 0.05$). La tabla ANVA se encuentra en el Anexo 8.

(A)



(a)



(B)



(b)



(C)



(c)



Figura 15. Imágenes de hojuelas de papa frita previamente sujetas a impregnación en agua (A, B y C, respectivamente) y en ECTPL (a, b y c, respectivamente) por 2, 5 y 10 min

(A)



(a)



(B)



(b)



(C)



(c)



Figura 16. Imágenes de hojuelas de papa frita previamente sujetas a impregnación en agua (A, B y C, respectivamente) y en EHTPL (a, b, c, respectivamente) por 2, 5 y 10 min

El parámetro a^* es un indicativo de la sobre cocción y enrojecimiento de las papas fritas (Morales *et al.* 2004; Pedreschi y Moyano 2005), ciertos autores relacionan este parámetro con la formación de la acrilamida, como Mesías *et al.* (2019) quienes encontraron valores de - 2.56 a 5.21 en papas fritas francesas de venta en establecimientos comerciales, con un valor máximo de acrilamida de 1,068 $\mu\text{g}/\text{kg}$; los valores en este estudio estuvieron comprendidos entre un rango de - 0.25 a 3.46. Los valores positivos del parámetro b^* indican el color dorado característico de las hojuelas de las papas fritas, en los resultados se observan valores de ~ 24 independientemente del tratamiento y el tipo de extracto de tara; esto fue mayor en comparación con Morales *et al.* (2004) y Qi *et al.* (2018) que obtuvieron valores de 11.5 - 15.2 y 14.5 - 21 para hojuelas de papas frita utilizando compuestos fenólicos; los valores de b^* pueden estar sujetos a la coloración de los extractos antioxidantes empleados. En las hojuelas de papa frita con valores $\Delta E'$ mayores a 5 se observó un color grisáceo (Figuras 16) en comparación con los otros tratamientos, al respecto, Pedreschi *et al.* (2018) reportaron un color similar con la adición de compuestos fenólicos de tara en pan, cuya intensidad aumentó en relación de la concentración del extracto. El cambio de color en los alimentos por efecto de la adición de compuestos antioxidantes, se reportaron por diferentes autores, así mismo, Moltram *et al.* (2002), Gökmen y Senyuva, (2007), Capuano *et al.* (2009), Zhang y An (2017) explican que los cambios de color de las hojuelas de papa frita se atribuye al color natural de los pigmentos fenólicos, las reacciones de Maillard y a la formación de acrilamida y HMF. Moreira y Almohaimeed (2018) indican que el $\Delta E'$ se ve afectado por el compuesto fenólico empleado, debido a que éste le otorga un color estadísticamente apreciable (dependiendo del tipo de compuesto fenólico) a las hojuelas de papa frita.

V. CONCLUSIONES

1. Los extractos de tara crudo purificados parcialmente por cromatografía de adsorción (ECTCA) y por partición líquido-líquido (ECTPL); así como los extractos de tara hidrolizados purificados parcialmente por cromatografía de adsorción (EHTCA) y por partición líquido-líquido (EHTPL), presentaron valores de compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante ABTS y capacidad antioxidante específica de; 567.10, 554.33, 631.07 y 659.83 mg AGE/g (b.s), 14,620.81, 13,942.49, 19,464.04 y 24,987.35 $\mu\text{mol TE/g}$ (b.s.) y 25.79, 25.15, 30.84 y 37.96 $\mu\text{mol TE/mg AGE}$, respectivamente.
2. En el sistema modelo asparagina-glucosa a las concentraciones de 5 y 7.5 mg AGE/mL, se logró mitigar la acrilamida en un 81 y 96 por ciento; sin embargo, no se pudo mitigar el contenido de hidroximetilfurfural, presentando valores similares o superiores a la muestra control.
3. Las hojuelas de papa frita tratadas con el ECTPL aplicado bajo inmersión a presión atmosférica por 5 min logró la máxima mitigación de acrilamida con un 29 por ciento; mientras que con el empleo del EHTPL al mismo tiempo de inmersión se alcanzó también la mayor mitigación de acrilamida con 58 por ciento. La impregnación bajo presión de vacío empleando el ECTPL mitigó la acrilamida a sus mayores valores entre 60 y 66.0 por ciento para los tiempos comprendidos entre los 2 y 10 min; mientras que al evaluar el EHTPL las máximas mitigaciones de acrilamida se dieron para los tiempos de impregnación entre 2 y 10 min con valores comprendidos entre 65 y 73 por ciento. La mitigación en la formación del HMF, para todos los tratamientos de impregnación estuvo comprendida entre 29 y 68 por ciento.
4. Los parámetros de color evaluados en las hojuelas de papas fritas con la aplicación de los diferentes extractos de tara y bajo los diferentes métodos de aplicación, muestran en general que, todas ellas presentan una coloración con tendencia hacia el amarillo dorado. Sobre la variación del color entre las hojuelas de papa control y las tratadas con extractos de tara, se presentaron cambios en las tonalidades ($\Delta E'$); siendo mucho más notorias en las hojuelas sujetas a impregnación con los extractos EHTPL.

VI. RECOMENDACIONES

- Evaluar el perfil cromatográfico de los extractos crudo e hidrolizado de la tara aplicada en los tratamientos de mitigación de acrilamida estudiados en la presente investigación, para determinar que tipo de compuesto fenólicos se encuentra en cada extracto.
- Evaluar sensorialmente las hojuelas de papa frita con panelistas entrenados.
- Aplicar los extractos de tara para mitigar acrilamida o HMF en otras variedades de papa, incluyendo papas nativas u otros productos fritos (camotes, plátanos, otros).
- Evaluar el empleo de otros extractos fenólicos de los recursos de la biodiversidad vegetal peruana como agentes mitigadores de la formación de neo-contaminantes.
- Desarrollar una evaluación de costos buscando escalar la investigación a nivel industrial.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abouelela, ME; Orabi, MA; Abdelhamid, RA; Abdelkader, MA; Madkor, HR; Darwish, FM; Hatano, T; Elsadek, BE. 2019. Ethyl acetate extract of *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. reduces methotrexate-induced renal damage in rats via antioxidant, anti-inflammatory, and antiapoptotic actions. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*.
- AECOSAN. 2017. Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición (AECOSAN) sobre los criterios de seguridad que limiten la exposición a acrilamida producida por la fritura de papas.
- Ahmed, I; Mohammed, A; Askar, M; Samy, W. 2013. Impact of pre-treatments on the acrylamide formation and organoleptic evolution of fried potato chips. *Am. J. Biochem. Biotechnol.* 9, 90–101.
- Amrein, TM; Bachmann, S; Noti, A; Biedermann, M; Ferraz, M; Biedermann-Brem, S; Grob, K; Keiser, A; Realini, P; Escher, F; Amadó, R. 2003. Potential of acrylamide formation, sugars, and free asparagine in potatoes: a comparison of cultivars and farming systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(18), 5556-5560.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists, US). 2007. Official methods of analysis of AOAC International by W. Horwitz. Edition 18°. Washington, EE.UU.
- Arribas, G. 2013. Análisis, inhibición e ingesta de nuevos contaminantes químicos de procesado en alimentos. Universidad Complutense de Madrid.
- Arribas, L; Morales, FJ. 2009. Dietary exposure to acrylamide from potato crisps to the Spanish population. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 26(3):289 - 297.
- Badui, DS. 2006. Química de los alimentos. Cuarta edición. Pearson Educación, México: 736.
- Bassama, J; Brat, P; Bohuon, P; Boulanger, R; Günata, Z. 2010. Study of acrylamide mitigation in model system: Effect of pure phenolic compounds. *Food Chemistry*, 123, 558-562.
- Becalski, A; Lau, B; Lewis, D; Seaman, S. 2003. Acrylamide in foods: Occurrence, Sources, and Modeling. *Journal Agricultura Food Chemistry*, 51, 802-808.
- Belkova, B; Hradecky, J; Hurkova, K; Forstova, V; Vaclavik, L; Hajslova, J. 2018. Impact of vacuum frying on quality of potato crisps and frying oil. *Food Chemistry*, 241, 51-59.
- Bertuzzi, T; Mulazzi, A; Rastelli, S; Sala, L; Pietri, A. 2018. Mitigation measures for acrylamide reduction in dough-based potato snacks during their expansion by frying. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 35, 1940–1947.

- Bravo Aranibar, N. 2010. Estudio de la extarcción de taninos a partir de la tara (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze) aplicando los métodos taguchi y superfici de respuesta [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina], Lima-Perú.
- Calsin Cutimbo, M. 2016. Estabilidad oxidativa del aceite de soya en almacenamiento y fritura con adición de extractos antioxidantes de mashua (*Tropaeolum Tuberosum*) [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina], Lima-Perú.
- Campos, D; Noratto, G; Chirinos, R; Arbizu, C; Roca, W; Cisneros-Zevallos, L. 2006. Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: Native potato (*Solanum* sp), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and olluco (*Ullucus tuberosum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86,1481-1488.
- Capuano, E; Flogiano, V. 2011. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 793-810.
- Capuano, E; Ferrigno, A; Acampa, I; Serpen, A; Açar, ÖÇ; Gökmen, V; Fogliano, V. 2009. Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies. *Food Research International*, 42, 1295–1302.
- Chambi, F. 2009. Actividad antirradical de taninos hidrolizados de tara (*Caesalpinia spinosa*) y su eficacia antioxidante en aceite de soya [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa], Arequipa-Perú.
- Chambi, F; Chirinos, R; Pedreschi, R; Betalleluz-Pallardel, I; Debase, F; Campos, D. 2013. Antioxidant potential of hydrolyzed polyphenolic extracts from tara (*Caesalpinia spinosa*) pods. *Industrial Crops and Products*, 47, 168-175.
- Cheng, J; Chen, X; Zhao, S; Zhang, Y. 2015. Antioxidant-capacity-based models for the prediction of acrylamide reduction by flavonoids. *Food Chemistry*, 168, 90-99.
- Cheng, KW; Zeng, XH; Tang, YS; Wu, JJ; Liu, ZW; Sze, KH. 2009. Inhibitory mechanism of naringenin against carcinogenic acrylamide formation and nonenzymatic browning in Maillard model reactions. *Chemical Research in Toxicology*, 22(8), 1483-1489.
- Ciesarova, Z; Suhaj, M; Horvathova, J. 2008. Correlation between acrylamide contents and antioxidant capacities of spice extracts in a model potato matrix. *Journal of Food and Nutrition Research*, 47, 1–5.

- Cisneros Yupanqui, MA. 2017. Purificación de péptidos bioactivos de quinua (*Chenopodium quinoa*) con capacidad de antioxidante y antihipertensiva [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina], Lima, Perú.
- CODEX. 2014. Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias comité del CODEX sobre aditivos alimentarios y contaminantes de los alimentos. Documento de debate sobre la acrilamida. Rotterdam, Paíse Bajos, 22-26 de marzo de 2004.
- Contreras Estrella, MR. 2017. Determinación de la relación entre el contenido de almidón y materia seca con la gravedad específica de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum*) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú], Huancayo-Perú.
- Coronado, M; Vega, S; Gutiérrez, LR; Vásquez, M; Radilla, C. 2015. Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2):206-212.
- De la Cruz, P. 2004. Aprovechamiento integral y racional de la tara (*Caesalpinia spinosa*-*Caesalpinia tinctoria*). *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, 7(14), 64-73.
- De la Oliva, M; Gonzales, N. 2010. Producción y exportación de derivados de la tara [Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas], Lima-Perú.
- Diario Oficial de la Unión Europea. Reglamento (UE). 2017. Consultado el 7 de mayo del 2019. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2017/304/L00024-00044.pdf>
- Duarte Correa, YS. 2019. Desarrollo de un producto fortificado y deshidratado como alternativa para la generación de valor agregado a la papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol Capiro [Tesis de doctorado, Universidad de Antioquia], Medellín, Colombia.
- EFSA. 2005. Opinion of EFSA scientific committee on a request of the EFSA related to a harmonised approach for risk assessment of substances which are both genotoxic and carcinogenic. *EFSA Journal*, 282, 1-30.
- Esquivel-González, B; Ochoa, ML; Rutiaga-Quiñones, O. 2015. Microencapsulación mediante secado por aspersión de compuestos bioactivos. *Revista Iberoamericana de Tecnología de Postcosecha*, 16(2), 180-192. Hermosillo, México.
- Fan, X. 2005. Formation of furan from carbohydrates and ascorbic acid following exposure to ionizing radiation and thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7826-7831.
- FAO. 2002. Consecuencias para la salud de acrilamida en los alimentos. Informe de la consulta Conjunta de FAO/OMS Sede central de la OMS. Departamento de Inocuidad de los Alimentos, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza.

- FDA (Food and Drug Administration). 2006. Exploratory data on acrylamide in food: total diet study results.
- Fennema, OR. 2010. Química de los alimentos. Tercera edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- Fernández, P. 2015. Acrilamida en alimentos sometidos a tratamientos térmicos [Tesis de pregrado, Universidad del Valle], Santiago de Cali.
- Food and Drug Administration/World Health Organization (FAO/OMS). 2005. Acrylamide in: summary and conclusions of the sixtyfourth meeting. *JOINT FAO/WHO expert committee on food additives (JECFA)*, Rome.
- Garro, J; Riedl, B; Conner, A. 1997. Analytical Studies on Tara Tannins. *Holzforchung*, 51, 235-243.
- Gökmen, V; Şenyuva, HZ. 2007. Acrylamide formation is prevented by divalent cations during the Maillard reaction. *Food Chemistry*, 103(1), 196–203.
- Gökmen, V; Kocadagli, T; Göncüoğlu, N; Mogol, BA. 2012. Model studies on the role of 5-hydroxymethyl-2-furfural in acrylamide formation from asparagine. *Food Chemistry*, 132, 168-174.
- González, J; Cruz, JM; Domínguez, H; Parajó, JC. 2004. Production of antioxidants from *Eucalyptus globulus* wood by solvent extraction of hemicellulose hydrolysates. *Food Chemistry*, 84, 243-251.
- González, M; Torre, J; Medin, I. 2010. Impact of thermal processing on the activity of gallotannins and condensed tannins from *Hamamelis virginiana* used as functional ingredients in seafood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4274-83.
- Hagerman, AE. 2002. Tannin Chemistry. University Oxford Miami .USA.
- Halford, N; Curtis, T; Muttucumar, N; Postles, J; Elmore, S; Mottram, D. 2012. The acrylamide problem: a plant and agronomic science issue. *Journal of Experimental Botany*, 63(8), 2841-2851.
- Harborne. 1989. Methods in plant biochemistry: Plant Phenolics, 1, 1-552.
- Huang, Y; Li, C; Hu, H; Wang, Y; Shen, M; Nie, S; Chen, J; Zeng, M; Xie, M. 2019. Simultaneous determination of acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural in heat-processed foods employing enhanced matrix removal-lipid as a new dispersive solid-phase extraction sorbent followed by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, 5017-5025.
- INIA. 2012. Ficha técnica de papa canchan-INIA. Ministerio de Agricultura y Riego.

- Inoue, K; Hagerman, A. 1988. Determination of Gallotannin with Rhodanine. *Analytical Biochemistry*, 169, 363-369.
- International Agency for Research on Cancer. Acrylamide (IARC). 1994. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. *Some Industrial Chemicals Lyon France*, 60, 389-433.
- Jackson, L; Al-Taher, F. 2010. Chapter 23-Processing Issues: acrylamide, furan and trans fatty acids. *Ensuring Global Food Safety: Exploring Global Harmonization*, 383-410.
- Jalili, M; Ansari, F. 2015. Identification and quantification of 5-hydroxymethylfurfural in food products. *Nutrition and Food Sciences Research*, 2(1), 47-53.
- Jin, C; Wu, X; Zhnag, Y. 2013. Relation ship between antioxidants and acrylamide formation: A review. *Food Research International*, 51, 611-620.
- Kalita, D; Holm, DG; Jayanty, SS. 2013. Role of polyphenols in acrylamide formation in the fried products of potato tubers with colored flesh. *Food Research International*, 54, (1), 753-759.
- Kasangana, PB; Eid, HM; Nachar, A; Stevanovic, T; Haddad, PS. 2019. Further isolation and identification of anti-diabetic principles from root bark of *Myrianthus arboreus* P. Beauv.: The ethyl acetate fraction contains bioactive phenolic compounds that improve liver cell glucose homeostasis. *Journal of Ethnopharmacology*, 245, 1-7.
- Kennedy, JA. 2012. Proanthocyanidins: Extarction, purification, and determination of subunit composition by HPLC. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, II.4.1-II.4.11.
- Koklamaz, E; Palazoglu, K; Kocadagli, T; Gökmen, V. 2014. Effect of combining conventional fryind with radio-frequency post-drying on acrylamide level and quality attributes of potato. *Journal of the Sience of Food and Agriculture*, 94(10), 2002-2008.
- Kotsiou, K; Tasioula-Margari, M; Kukurová, K; Ciesarová, Z. 2010. Impact of oregano and virgin olive oil phenolic compounds on acrylamide content in a model system and fresh potatoes. *Food Chemistry*, 123, 1149-1155.
- Lee, C-H; Chen, K-T; Lin, J-A; Chen, Y-T; Chen, Y-A; Wu, J-T; Hsieh, C-W. 2019. Recent advances in processing technology to reduce 5-hydroxymethylfurfural in foods. *Trends in Food Science & Technology*.
- León, M. 2018. Evaluación *in vitro* de la capacidad inhibitoria de taninos presentes en la tara (*Caesalpinia spinosa*) frente a *Fusarium* sp. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana], Cuenca-Ecuador.
- Liu, Y; Wang, P; Chen, F; Yuan, Y; Zhu, Y; Yan, H; Hu, X. 2015. Role of plant polyphenols in acrylamide formation and elimination. *Food Chemitsry*.

- Lu, Z; Nie, G; Belton, PS; Tang, H; Zhao, B. 2006. Structure – activity relationship analysis of antioxidant ability and neuroprotective effect of gallic acid derivatives. *Neurochemistry International*, 48, 263-274.
- Lupo, B; Maestro, A; Porras, M; Gutiérrez, M; González, C. 2013. Preparation of alginate microspheres by emulsification/internal gelation to encapsulate cocoa polyphenols. *Food Hydrocolloids*, 38, 56-65.
- Miao, YT; Zhang, H; Zhang, L; Wu, S; Sun, Y; Shan, Y; Yuan, Y. 2014. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation in reconstituted potato chips during frying. *Journal Food Science Technology*, 51(12), 4005-4011.
- Miller, GL. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical chemistry*, 31(3), 426-428.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). 2020. Análisis de mercado de papa. Sierra y Selva exportadora. *Unidad de Inteligencia Comercial*, 1-85.
- Mohamed, AE; El-Zamzamy, F; Mekky, T. 2014. Reduction of acrylamide formation in potato chips using natural antioxidants sources from plant extracts. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 3(1), 89-99.
- Moltram, DS; Wedzicha, BL; Dodson, AT. 2002. Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Journal Nature*, 429, 448-449.
- Monti, SM; Ritieni, A; Sacchi, R; Skog, K; Borgen, E; Fogliano, V. 2001. Characterization of phenolic compounds in virgin olive oil and their effect on the formation of carcinogenic/mutagenic heterocyclic amines in a model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49, 3969–3975.
- Morales Peralta, FS. 2020. Cinética de degradación de polifenoles y formación de hidroximetilfurfural en extractos de vainas de tara (*Caesalpinia spinosa*) sometidos a tratamientos térmicos [Tesis de maestría, Universidad de Chile], Santiago-Chile.
- Morales, FJ. 2009. Hydroxymethylfurfural (HMF) and related compounds. En R. H. Stadler y D. R. Lineback. (Eds.), *Process-Induced Food Toxicants: Occurrence, Formation, Mitigation, and Health Risks* (pp. 135-174). A John Wiley & Sons, INC., Publication.
- Morales, G; Jimenez, M; Garcia, O; Mendoza, MR; Beristain, CI. 2014. Effect of natural extracts on the formation of acrylamide in fried potatoes. *Food Science and Technology*, 1-7.
- Moreira, RG; Almohaimed, S. 2018. Technology for processing of potato chips impregnated with red rootbeet phenolic compounds. *Journal of Food Engineering*, 228,57-68.

- Mueller-Harvey, I. 2001. Analysis of hydrolysable tannins. *Animal Feed Science and Technology*, 91, 3-20.
- NTP 011.119 (Norma Técnica Peruana). 2010. Papa y derivados. Papa. Definiciones y Requisitos. Segunda edición.
- NTP 011.801 (Norma Técnica Peruana). 2016. Papa y sus derivados. Hojuelas de papa frita. Requisitos. Primera edición.
- NTP- National Toxicology Program. 2011. Report on Carcinogens Heterocyclic amines (Selected), twelfth ed. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Natl Toxicology Program, 220-227.
- Obregón A; Repo R. 2013. Evaluación fisicoquímica y bromatológica de cuatro variedades nativas de papa (*Solanum SPP.*). *Ciencia e Investigación*, 16(1), 38-40.
- Olivas-Aguirre, F; Wall-Medrano, A; González-Aguilar, G; López-Día, J; Álvarez-Parrill, E; De la Rosa, L; Ramos-Jiménez, A. 2015. Taninos hidrolizables: bioquímica, aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 55-66.
- Oral, RA; Dogan M; Sarioglu K. 2014. Effects of certain polyphenols and extracts on furans and acrylamide formation in model system, and total furans during storage. *Food Chemistry*, 142, 423-429.
- Ou, S; Shi, J; Huang, C; Zhang, G; Teng, J; Jiang, Y; Yang, B. 2010. Effect of antioxidants on elimination and formation of acrylamide in model reaction systems. *Journal of Hazardous Materials*, 182(1-3), 863-868.
- Pacheco, MI. 2015. Obtención de ácido ferúlico a partir de un concentrado de la hidrólisis alcalina del maíz [Tesis de maestría, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo], Hermosillo, Sonora.
- Pajar, ML. 2008. Elaboración de hojuelas fritas de pituca (*Colocasia esculenta (L.) Schott*) [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú], Satipo-Perú.
- Paul, V; Ezekiel, R; Pandey, R. 2016. Acrylamide in processed potato products: progress made and present status. *Acta Physiologiae Plant*, 38(12), 276.
- Pedreschi, F; Kaack, K; Granby, K. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato slices during frying. *LWT – Food Science and Technology*, 37(6), 679–685.
- Pedreschi, F; Saavedra, I; Bungler, A; Zuñiga, R; Pedreschi, R; Campos, D; Mariotti-Celis, M. 2018. Tara pod (*Caesalpinia spinosa*) extract mitigates neo-contaminant formation in Chilean bread preserving their sensory attributes. *LWT-Food Science and Technology*.
- Peñarrieta, JM; Tejeda, L; Mollinedo, P; Vila, JL; Bravo, JA. 2014. Compuestos fenólicos y su presencia en alimentos. *Revista Boliviana de Química*, 31(2), 68-81.

- Perez-Locas, C; Yaylayan, VA. 2008. Further insight into thermally and pH-induced generation of acrylamide from glucose/asparagine model systems. *Journal Agriculture Food Chemical*, 56, 6069-6074.
- Plata, R. 2015. Determinación, valoración y reducción de acrilamida en alimentos hidrocarbonados [Tesis de doctorado, Universidad de Granada], Granada-España.
- Plata-Guerrero, R; Guerra-Hernández, E; García-Villanova, B. 2009. Determination of reducing sugar and asparagine in potatoes. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 32(17), 2556-2568.
- Porter, LJ. 1989. Tannins. In: Methods in Plant Biochemistry. Ed. Harbone J.B. Plant Science Laboratories University of Reading, U.K., 1, 1-552.
- Qi, Y; Zhang, H; Wu, G; Zhang, H; Gu, L; Wang, L; Qian, H; Qi, X. 2018-a. Mitigation effects of proanthocyanidins with different structures on acrylamide formation in chemical and fried potato crisp models. *Food Chemistry*, 250, 98-104.
- Qi, Y; Zhang, H; Wu, G; Zhang, H; Wang, L; Qian, H; Qi, X. 2018-b. Reduction of 5-hydroxymethylfurfural formation by flavan-3-ols in Maillard reaction models and fried potato chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98, 5294-5301.
- Rannou, C; Laroque, D; Renault, E; Prost, C; Sérot T. 2016. Mitigation strategies of acrylamide, furans, heterocyclic amines and browning during the Maillard reaction in foods. *Food Research International*, 90, 154-176.
- Rincón Sánchez, J. 2015. Efecto del tipo de empaque y la temperatura de almacenamiento en la degradación de compuestos antocianicos de la papa (*Solanum andigenum Juz. et Buk*) nativa, variedad yana chapiña [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga], Ayacucho-Perú.
- Ros-Polski, V; Popović, V; Koutchma, T. 2016. Effect of ultraviolet-C light treatment on Hydroxymethylfurfural (5-HMF) content in High Fructose Corn Syrup (HFCS) and model syrups. *Journal of Food Engineering*.
- Saavedra Gatica, IE. 2016. Desarrollo de un extracto de tara (*Caesalpinia spinosa*) y estudio de su efecto sobre el contenido de neo-contaminantes, calidad y perfil sensorial de pan de tipo hallulla [Tesis de pregrado y de maestría, Universidad de Chile], Santiago-Chile.
- Salminen, JP. 2003. Effects of sample drying and storage, and choice of extraction solvent and analysis method on the yield of birch leaf hydrolyzable tannins. *Journal of Chemical Ecology*, 29(6), 1289-1305.

- Serpen, A; Gökmen, V. 2009. Evaluation of the Maillard reaction in potato crisps by acrylamide, antioxidant capacity and color. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 589-595.
- Shahidi, F; Ho, CT. 2005. Phenolic compounds in foods and natural health products. *American Chemical Society*, Washington, DC.
- Shin, D-C; Kim, C-T; Lee, Y-C; Choi, W-J; Na, Y-J; Lee, K-W. 2010. Reduction of acrylamide by taurine in aqueous and potato chip model systems. *Food Research International*, 43(5), 1356-1360.
- Singleton, V; Rossi, J. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology Viticulture*, 16, 2349-2351.
- Skog, M; Viklund, G. 2014. Processing Contaminants: Acrylamide. *Encyclopedia of Food Safety*, 2, 363-370.
- Skowrya, M; Falguera, V; Gallego, G; Peiró, S; Almajo, MP. 2013. Antioxidant properties of aqueous and ethanolic extracts of tara (*Caesalpinia spinosa*) pods *in vitro* and model food emulsions. *Journal Science Agriculture*, 94, 911-918.
- Taiz, L; Zeiger, E. 2002. Plant Physiology. Tercera edición, 690 pp.
- Teixidó, E; Moyano, E; Santos, FJ; Galceran, MT. 2008. Liquid chromatography multi-stage mass spectrometry for the analysis of 5-hydroxymethylfurfural in foods. *Journal of Chromatography A*, 1185, 102-108.
- Teran Hilares, R. 2014. Diseño de mezclas de compuestos fenólicos en función a su eficacia antioxidante en el aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina], Lima-Perú.
- Trillo Contreras, JL. 2015. Extracción y purificación de productos naturales de interés industrial [Tesis de maestría, Universidad de Almería], Almería-España.
- United States Department of Agriculture (USDA). 2018. Clasificación taxonómica de la tara. Consultada: 17 de agosto del 2018, disponible en: <https://www.plants.usda.gov/java/>
- Verma, V; Yadav, N. 2020. Genotoxicity of heat induced contaminants in food. *Plant Archives*, 20, 36-41.
- Vijay, P; Ezequiel, R; Pnadey, R. 2016. Acrylamide in processed potato products: progress made and present status. *Acta Physiology Plant*, 38, 276.
- Virk-Baker, MK; Nagy, TR; Barnes, S; Groopman, J. 2014. Dietary acrylamide and human cancer: a systematic review of literature. *Nutrition and Cancer*, 66(5):774-790.

- Wen, CH; Shi, X; Wang, Z; Gao, W; Jiang, L; Xiao, Q; Liu, X; Deng, F. 2015. Effects of metal ions on formation of acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural in asparagine–glucose model system. *International Journal of Food Science and Technology*, 51, 279–285.
- Xu, C; Yagiz, Y; Marshall, M; Li, Z; Simonne, A; Lu, J; Marshall, MR. 2015. Application of muscadine grape (*Vitis rotundifolia* Michx.) pomace extract to reduce carcinogenic acrylamide. *Food Chemistry*, 182, 200-208.
- Yapuchura Mamani, R. 2010. Estudio de los componentes antioxidantes de las hojas de muña (*Minthostachys mollis* (Kunth) Griseb.) e inca muña (*Clinopodium bolivianum* (Benth.) Kuntze) [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina], Lima-Perú.
- Yaranga Oncihuay, RI. 2019. Efecto de la temperatura de escaldado y frito en el contenido de acrilamida de papa nativa, oca y mashua amarilla [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú], Huancayo-Perú.
- Yuan, Y; Qi, M; Liu, H; Yan, H. 2019. Study of acrylamide mitigation in model systems and potato crisps: effect of rosmarinic acid. *International Journal of Food Science and Technology*, 54, 1-11.
- Zhang y Jin. 2016. Acrylamide in food. Chapter 17: Relationship between Antioxidants and Acrylamide Formation, 325-353.
- Zhang, Y; An, X. 2017. Inhibitory mechanism of quercetin against the formation of 5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde in buckwheat flour bread by ultra-performance liquid chromatography coupled with high-resolution tandem mass spectrometry. *Food Research International*, 95, 68-81.
- Zhang, Y; Chen, J; Zhang, X; Wu, X; Zhang, Y. 2007. Addition of antioxidant of bamboo leaves (AOB) effectively reduces acrylamide formation in potato crisps and French fries. *J. Agric. Food Chem*, 55, 523–528.
- Zhang, Y; Ying, T; Zhang, Y. 2008. Reduction of acrylamide and its kinetics by addition of antioxidant of bamboo leaves (AOB) and extract of green tea (EGT) in asparagine-glucose microwave heating system.
- Zhu, F; Cai, YZ; Keb, J; Corke, H. 2009. Evaluation of the effect of plant extracts and phenolic compounds on reduction of acrylamide in an asparagine/glucose model system by RP-HPLC-DAD. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 1674–1681.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Cromatograma de acrilamida y HMF

1.1. Cromatograma de la acrilamida por LC/MS-MS

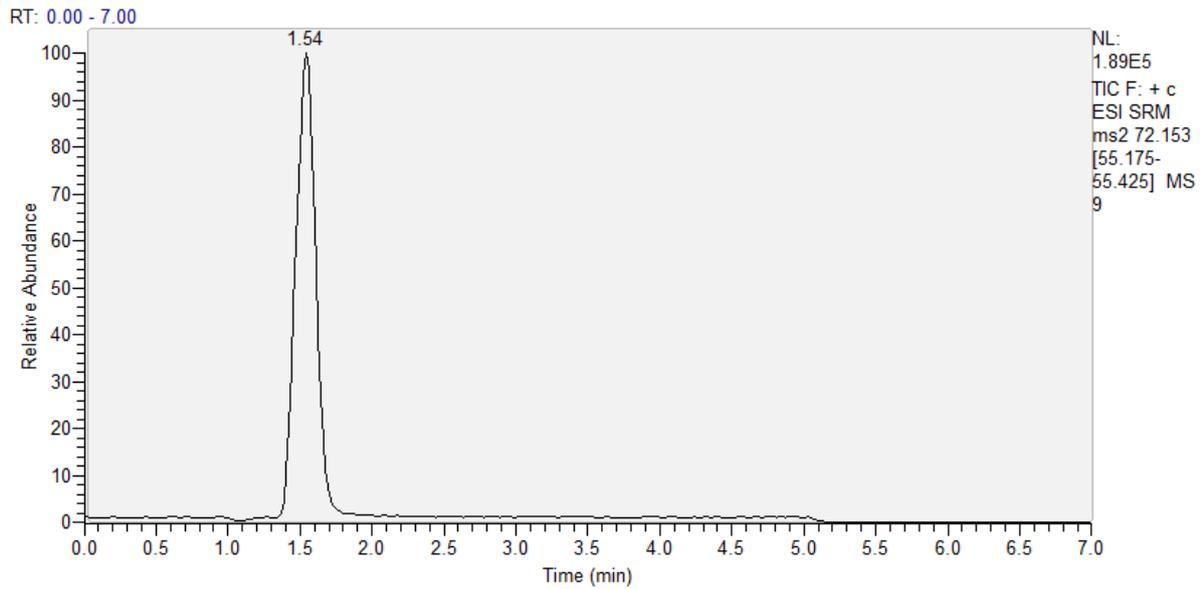


Figura 1. Cromatograma de acrilamida

1.2. Cromatograma de la acrilamida por HPLC

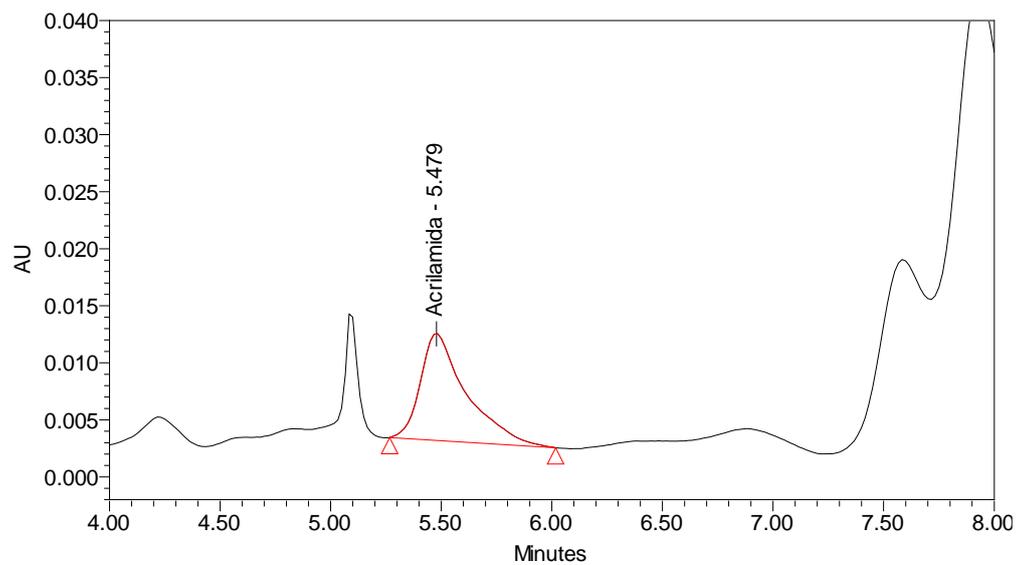


Figura 2. Cromatograma de acrilamida

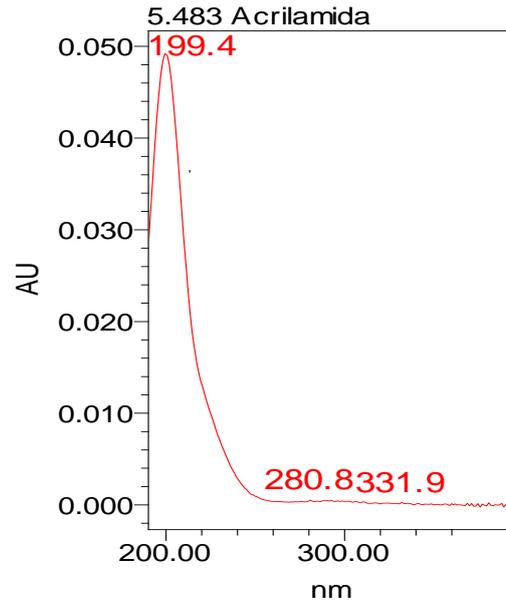


Figura 3. Espectro de absorción de la acrilamida

1.3. Cromatograma de hidroximetilfurfural por LC/MS-MS

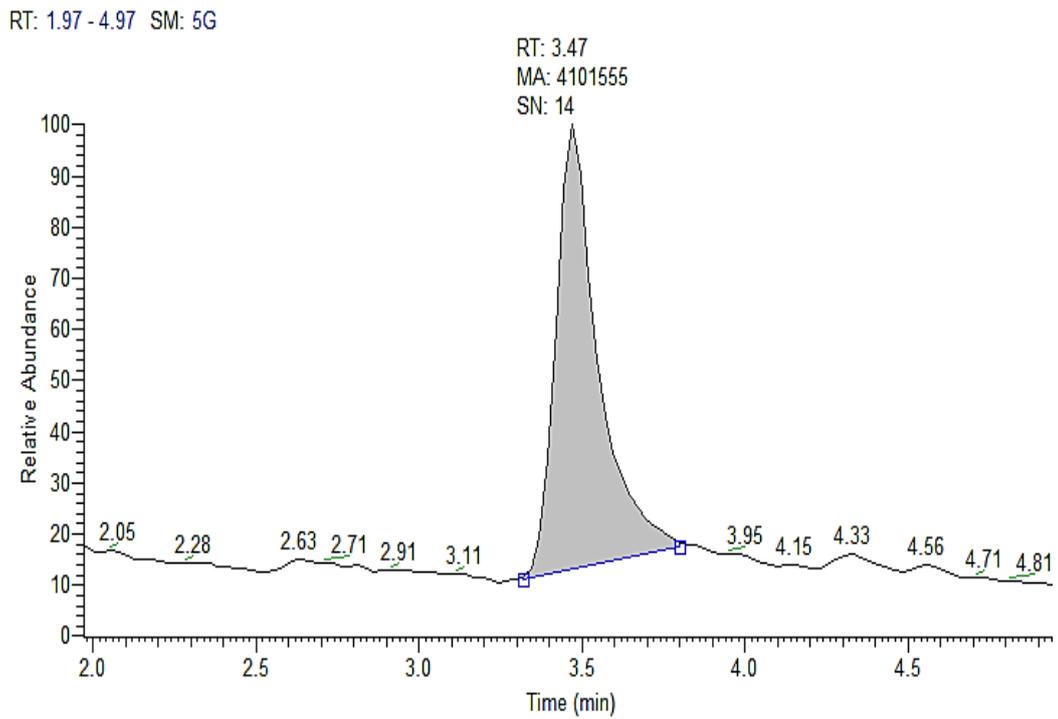


Figura 4. Cromatograma de hidroximetilfurfural

Anexo 2: Análisis estadístico - caracterización de los extractos de tara

2.1. Compuestos fenólicos

Tabla ANOVA para compuestos fenólicos por tipo de extracto

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	23026.5	3	7675.5	27.54	0.0001
Intra grupos	2230.0	8	278.75		
Total (Corregido)	25256.5	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de compuestos fenólicos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 27.5355, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de los compuestos fenólicos entre un nivel de tipo de extracto y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para compuestos fenólicos por tipo de extracto

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
ECTPL	3	554.327	X
ECTCA	3	567.097	X
EHTCA	3	631.067	X
EHTPL	3	659.83	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ECTPL – ECTCA		-12.77	43.6391
ECTPL - EHTPL	*	-105.503	43.6391
ECTPL – EHTCA	*	-76.74	43.6391
ECTCA – EHTPL	*	-92.7333	43.6391
ECTCA – EHTCA	*	-63.97	43.6391
EHTPL - EHTCA		28.7633	43.6391

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 4 pares, indica que éstos

pares muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza 95.0 por ciento.

También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existe diferencia estadísticamente significativa entre aquellos niveles que compartan una misma columna de signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

2.2. Capacidad antioxidante

Tabla ANOVA para antioxidante por tipo de extracto

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.35774E8	3	7.85915E7	367.08	0.0000
Intra grupos	1.71277E6	8	214097.		
Total (Corregido)	2.37487E8	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de la capacidad antioxidante en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 367.084, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la capacidad antioxidante entre un nivel de tipo de extracto y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para la capacidad antioxidante por tipo de extracto

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
ECTPL	3	13942.5	X
ECTCA	3	14620.8	X
EHTCA	3	19464.0	X
EHTPL	3	24987.4	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ECTPL – ECTCA		-678.32	1209.41
ECTPL - EHTPL	*	-11044.9	1209.41
ECTPL – EHTCA	*	-5521.56	1209.41
ECTCA - EHTPL	*	-10366.5	1209.41
ECTCA - EHTCA	*	-4843.24	1209.41
EHTPL - EHTCA	*	5523.31	1209.41

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares, indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en columna. No existe diferencia estadísticamente significativa entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

2.3. Capacidad antioxidante específica

Tabla ANOVA para capacidad antioxidante específica por tipo de extracto

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	315.653	3	105.218	46.94	0.0000
Intra grupos	17.9304	8	2.2413		
Total (Corregido)	333.583	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de la capacidad antioxidante específica en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 46.9449, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la capacidad antioxidante específica entre un nivel de tipo de extracto y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para la capacidad antioxidante específica por tipo de extracto

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
ECTPL	3	25.1533	X
ECTCA	3	25.79	X
EHTCA	3	30.8433	X
EHTPL	3	37.9567	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
ECTPL – ECTCA		-0.636667	3.91308
ECTPL - EHTPL	*	-12.8033	3.91308
ECTPL – EHTCA	*	-5.69	3.91308
ECTCA – EHTPL	*	-12.1667	3.91308
ECTCA – EHTCA	*	-5.05333	3.91308
EHTPL - EHTCA	*	7.11333	3.91308

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en columna. No existe diferencia estadísticamente significativa entre aquellos niveles que compartan una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Anexo 3: Análisis estadístico - evaluación de los extractos de tara en la mitigación de AA en sistema modelo

3.1. Extracto crudo de tara purificado parcialmente mediante cromatografía de adsorción

Tabla ANOVA para acrilamida por concentración de compuestos fenólicos

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4288.92	3	1429.64	11.10	0.0032
Intra grupos	1030.0	8	128.75		
Total (Corregido)	5318.92	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de la acrilamida en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 11.104, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la acrilamida entre un nivel de concentración de compuestos fenólicos y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para acrilamida por concentración de compuestos fenólicos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel (mg AGE/mL)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1.25	3	43.6667	X
2.5	3	58.6667	XX
5	3	81.3333	XX
7.5	3	92.0	X

Contraste (mg AGE/mL)	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1.25 - 2.5		-15.0	29.658
1.25 - 5	*	-37.6667	29.658
1.25 - 7.5	*	-48.3333	29.658
2.5 - 5		-22.6667	29.658
2.5 - 7.5	*	-33.3333	29.658
5 - 7.5		-10.6667	29.658

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en columna. No existe diferencia estadísticamente significativa entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

3.2. Extracto hidrolizado de tara purificado parcialmente mediante cromatografía de adsorción

Tabla ANOVA para acrilamida por concentración de compuestos fenolicos

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	10583.3	3	3527.78	153.94	0.0000
Intra grupos	183.333	8	22.9167		
Total (Corregido)	10766.7	11			

La tabla ANOVA descompone la varianza de acrilamida EH en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 153.939, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de acrilamida EH entre un nivel de concentración de compuestos fenolicos y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para acrilamida EH por concentración de compuestos fenolicos

Método: 95.0 porcentaje LSD

Nivel (mg AGE/mL)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1.25	3	24.6667	X
2.5	3	47.0	X
5	3	89.0	X
7.5	3	96.6667	X

Contraste (mg AGE/mL)	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1.25 - 2.5	*	-22.3333	9.01345
1.25 - 5	*	-64.3333	9.01345
1.25 - 7.5	*	-72.0	9.01345
2.5 - 5	*	-42.0	9.01345
2.5 - 7.5	*	-49.6667	9.01345
5 - 7.5		-7.66667	9.01345

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existe diferencia estadísticamente significativa entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

ANEXO 4: Análisis estadístico - evaluación de los extractos de tara en la mitigación de HMF en sistema modelo

4.1. Extracto crudo de tara purificado parcialmente mediante cromatografía de adsorción

Tabla ANOVA para HMF por concentración de compuestos fenólicos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	93063.0	3	31021.0	17.56	0.0007
Intra grupos	14130.7	8	1766.33		
Total (Corregido)	107194.	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de HMF en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 17.5624, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente

significativa entre la media de HMF entre un nivel de concentración de compuestos fenólicos y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para HMF por concentración de compuestos fenólicos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel (mg AGE/mL)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
5	3	66.3333	X
1.25	3	76.3333	X
2.5	3	105.333	X
7.5	3	283.333	X

Contraste (mg AGE/mL)	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1.25 - 2.5		-29.0	109.851
1.25 - 5		10.0	109.851
1.25 - 7.5	*	-207.0	109.851
2.5 - 5		39.0	109.851
2.5 - 7.5	*	-178.0	109.851
5 - 7.5	*	-217.0	109.851

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en columna. No existe diferencia estadísticamente significativa entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

4.2. Extracto hidrolizado de tara purificado parcialmente mediante cromatografía de adsorción

Tabla ANOVA para HMF por concentración de compuestos fenólicos

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.78284E6	3	594281.	55.67	0.0000
Intra grupos	85398.7	8	10674.8		

Total (Corregido)	1.86824E6	11			
-------------------	-----------	----	--	--	--

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de HMF en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 55.6713, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de HMF entre un nivel de concentración de compuestos fenólicos y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para HMF por concentración de compuestos fenólicos

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel (mg AGE/mL)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1.25	3	127.667	X
2.5	3	265.667	XX
5	3	420.333	X
7.5	3	1128.67	X

Contraste (mg AGE/mL)	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1.25 - 2.5		-138.0	270.053
1.25 - 5	*	-292.667	270.053
1.25 - 7.5	*	-1001.0	270.053
2.5 - 5		-154.667	270.053
2.5 - 7.5	*	-863.0	270.053
5 - 7.5	*	-708.333	270.053

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 4 pares, indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas a un nivel de confianza de 95.0 por ciento. También, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existe diferencia estadísticamente significativa entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Anexo 5: Análisis estadístico - evaluación de los extractos de tara en la mitigación de la AA en hojuelas de papa frita

5.1. Inmersión en ECTPL

Tabla ANOVA para AA por tiempo de inmersión en ECTPL

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	141.945	3	47.3149	4.63	0.0368
Intra grupos	81.6771	8	10.2096		
Total (Corregido)	223.622	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de AA en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 4.63433, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de AA entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para AA por tiempo de inmersión en ECTPL

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
20 min	3	20.4367	X
2 min	3	21.46	XX
10 min	3	24.94	XX
5 min	3	29.2233	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
2 min - 20 min		1.02333	8.35168
2 min - 5 min		-7.76333	8.35168
2 min - 10 min		-3.48	8.35168
20 min - 5 min	*	-8.78667	8.35168
20 min - 10 min		-4.50333	8.35168
5 min - 10 min		4.28333	8.35168

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco junto a 1 par, indica que este par muestra diferencias

estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

5.2. Inmersión en EHTPL

Tabla ANOVA para AA por tiempo de inmersión en EHTPL

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1045.77	3	348.589	12.97	0.0019
Intra grupos	214.988	8	26.8735		
Total (Corregido)	1260.76	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de AA en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 12.9715, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de AA entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para AA por tiempo de inmersión en EHTPL

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
10 min	3	33.36	X
7.5 min	3	39.28	XX
2 min	3	48.6533	XX
5 min	3	57.93	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
2 min - 10 min	*	15.2933	13.5497
2 min - 5 min		-9.27667	13.5497
2 min - 7.5 min		9.37333	13.5497
10 min - 5 min	*	-24.57	13.5497
10 min - 7.5 min		-5.92	13.5497
5 min - 7.5 min	*	18.65	13.5497

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

5.3. Impregnación en ECTPL

Tabla ANOVA para AA por tiempo de impregnación en ECTPL

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	556.792	3	185.597	10.37	0.0039
Intra grupos	143.246	8	17.9058		
Total (Corregido)	700.038	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de AA en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 10.3652, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de AA entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para AA por tiempo de impregnación en ECTPL

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1 min	3	48.5833	X
10 min	3	60.8167	X
5 min	3	63.7733	X
2 min	3	66.3567	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 min - 10 min	*	-12.2333	11.0603
1 min - 2 min	*	-17.7733	11.0603

1 min - 5 min	*	-15.19	11.0603
10 min - 2 min		-5.54	11.0603
10 min - 5 min		-2.95667	11.0603
2 min - 5 min		2.58333	11.0603

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

5.4. Impregnación en EHTPL

Tabla ANOVA para AA por tiempo de impregnación en EHTPL

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1917.38	3	639.127	133.19	0.0000
Intra grupos	38.3875	8	4.79844		
Total (Corregido)	1955.77	11			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de AA en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 133.195, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de AA entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para AA por tiempo de impregnación en EHTPL

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
1 min	3	41.2467	X
2 min	3	63.1233	X
5 min	3	70.83	X
10 min	3	73.37	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
1 min - 10 min	*	-32.1233	5.72557
1 min - 2 min	*	-21.8767	5.72557
1 min - 5 min	*	-29.5833	5.72557
10 min - 2 min	*	10.2467	5.72557
10 min - 5 min		2.54	5.72557
2 min - 5 min	*	-7.70667	5.72557

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 5 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Anexo 6: Análisis estadístico - evaluación de los extractos de tara en la mitigación de la HMF en hojuelas de papa frita

6.1. Inmersión en ECTPL

Tabla ANOVA para HMF por tiempo de inmersión en ECTPL

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1014.8	2	507.401	3.36	0.1048
Intra grupos	905.121	6	150.854		
Total (Corregido)	1919.92	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de HMF en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 3.36353, es el coANVA de la Tabla 11 entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de HMF entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

6.2. Inmersión en EHTPL

Tabla ANOVA para HMF por tiempo de inmersión en EHTPL

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11662.6	2	5831.3	33.56	0.0006
Intra grupos	1042.55	6	173.759		
Total (Corregido)	12705.2	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de HMF en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 33.5598, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de HMF entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para HMF por tiempo de inmersión en EHTPL

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
5 min	-	-	-
10 min	3	33.7733	X
2 min	3	68.2333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min	*	-34.46	33.0236

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

6.3. Impregnación en ECTPL

Tabla ANOVA para HMF por tiempo de impregnación en ECTPL

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	740.877	2	370.439	7.98	0.0204
Intra grupos	278.355	6	46.3924		
Total (Corregido)	1019.23	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de HMF en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 7.98489, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de HMF entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para HMF por tiempo de impregnación en ECTPL

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2 min	3	30.3133	X
10 min	3	36.57	XX
5 min	3	51.91	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min		6.25667	17.0638
10 min - 5 min		-15.34	17.0638
2 min - 5 min	*	-21.5967	17.0638

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

6.4. Impregnación en EHTPL

Tabla ANOVA para HMF por tiempo de impregnación en EHTPL

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2329.15	2	1164.58	17.94	0.0029
Intra grupos	389.382	6	64.897		
Total (Corregido)	2718.53	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de HMF en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 17.945, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de HMF entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para HMF por tiempo de impregnación en EHTPL

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2 min	3	22.9933	X
5 min	3	54.9567	X
10 min	3	58.9333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min	*	35.94	20.182
10 min - 5 min		3.97667	20.182
2 min - 5 min	*	-31.9633	20.182

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Anexo 7: Análisis estadístico - parámetros de color de las hojuelas de papa frita con ECTPL y EHTPL aplicado por inmersión a presión atmosférica

7.1. Inmersión en ECTPL

Parámetro L*

Tabla ANOVA para el parámetro L

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.922422	2	0.461211	0.26	0.7821
Intra grupos	10.803	6	1.8005		
Total (Corregido)	11.7254	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro L en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.256157, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro L entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Parámetro a*

Tabla ANOVA para el parámetro a* por tiempo de inmersión

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	7.09629	2	3.54814	4.38	0.0672
Intra grupos	4.86247	6	0.810411		
Total (Corregido)	11.9588	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro a* en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 4.3782, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de a entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro a*

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
10 min	3	0.78	X
5 min	3	1.73667	X
2 min	3	2.95	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min		-2.17	2.2553
10 min - 5 min		-0.956667	2.2553
2 min - 5 min		1.21333	2.2553

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel de confianza del 95.0 porcentaje. También, se identifican un grupo homogéneo, según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Parámetro b*

Tabla ANOVA para el parámetro b*

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0632667	2	0.0316333	0.04	0.9627
Intra grupos	4.95833	6	0.826389		
Total (Corregido)	5.0216	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro b* en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.038279, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro b* entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel del 95.0 por ciento de confianza.

Parámetro h°

Tabla ANOVA para h por tiempo de inmersión

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	25.6615	2	12.8307	4.56	0.0626
Intra grupos	16.8935	6	2.81559		
Total (Corregido)	42.555	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de parámetro h° en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 4.55704, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro h° entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para h por tiempo de inmersión

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2 min	3	84.41	X
5 min	3	86.7533	X
10 min	3	88.5333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min		4.12333	4.20375
10 min - 5 min		1.78	4.20375
2 min - 5 min		-2.34333	4.20375

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican un grupo homogéneo, según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el

signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Parámetro $\Delta E'$

Tabla ANOVA para el parámetro $\Delta E'$

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.33047	2	1.16523	0.70	0.5333
Intra grupos	9.99473	6	1.66579		
Total (Corregido)	12.3252	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad de parámetro AE en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.699508, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro AE entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

7.2. Inmersión en EHTPL

Parámetro L^*

Tabla ANOVA para el parámetro L^*

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	15.0278	2	7.51391	5.12	0.0505
Intra grupos	8.80913	6	1.46819		
Total (Corregido)	23.837	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro L^* en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 5.11781, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro L^* entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Parámetro a*

Tabla ANOVA para a por tiempo de inmersión

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	25.7816	2	12.8908	58.33	0.0001
Intra grupos	1.326	6	0.221		
Total (Corregido)	27.1076	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro a* en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 58.3294, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de a entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro a*

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
10 min	3	-0.396667	X
5 min	3	0.223333	X
2 min	3	3.46333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min	*	-3.86	1.17774
10 min - 5 min		-0.62	1.17774
2 min - 5 min	*	3.24	1.17774

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Parámetro b*

Tabla ANOVA para el parámetro b*

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	77.4104	2	38.7052	40.94	0.0003
Intra grupos	5.67193	6	0.945322		
Total (Corregido)	83.0824	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro b* en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 40.9439, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro b* entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro b*

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
5 min	3	25.4367	X
10 min	3	26.28	X
2 min	3	32.0367	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min	*	-5.75667	2.4358
10 min - 5 min		0.843333	2.4358
2 min - 5 min	*	6.6	2.4358

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo de X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Parámetro h°

Tabla ANOVA para el parámetro h°

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	74.5884	2	37.2942	31.43	0.0007
Intra grupos	7.1196	6	1.1866		
Total (Corregido)	81.708	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro h° en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 31.4295, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro h° entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro h°

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2 min	3	84.0033	X
5 min	3	89.6367	X
10 min	3	90.4933	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min	*	6.49	2.729
10 min - 5 min		0.856667	2.729
2 min - 5 min	*	-5.63333	2.729

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra las diferencia estimada entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Parámetro $\Delta E'$

Tabla ANOVA para el parámetro $\Delta E'$

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	45.7155	2	22.8577	30.88	0.0007
Intra grupos	4.44093	6	0.740156		
Total (Corregido)	50.1564	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro AE en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 30.8824, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro AE entre un nivel de tiempo de inmersión y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro AE'

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2 min	3	1.81333	X
5 min	3	6.30333	X
10 min	3	6.84	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min	*	5.02667	2.15533
10 min - 5 min		0.536667	2.15533
2 min - 5 min	*	-4.49	2.15533

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey

Anexo 8: Análisis estadístico – parámetros de color de las hojuelas de papa frita con ECTPL y EHTPL aplicado por impregnación a presión de vacío

8.1. Impregnación en ECTPL

Parámetro L*

Tabla ANOVA para L por tiempo de impregnacion

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.56669	2	0.783344	0.29	0.7580
Intra grupos	16.1917	6	2.69862		
Total (Corregido)	17.7584	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro L* en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.290276, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro L* entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Parámetro a*

Tabla ANOVA para a por tiempo de impregnacion

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0.0644222	2	0.0322111	0.55	0.6020
Intra grupos	0.349533	6	0.0582556		
Total (Corregido)	0.413956	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro a* en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.552928, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de a entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Parámetro b*

Tabla ANOVA para b por tiempo de impregnacion

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	24.2485	2	12.1242	6.67	0.0299
Intra grupos	10.9061	6	1.81769		
Total (Corregido)	35.1546	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro b* en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 6.67014, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de b entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro b*

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
5 min	3	23.1233	X
2 min	3	24.24	XX
10 min	3	27.0267	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min		2.78667	3.37763
10 min - 5 min	*	3.90333	3.37763
2 min - 5 min		1.11667	3.37763

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior muestra la diferencia estimada entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Parámetro h°

Tabla ANOVA para el parámetro h°

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.41936	2	1.20968	1.16	0.3742
Intra grupos	6.23953	6	1.03992		
Total (Corregido)	8.65889	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro h° en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1.16324, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de h entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Parámetro $\Delta E'$

Tabla ANOVA para el parámetro $\Delta E'$

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	4.17416	2	2.08708	0.49	0.6332
Intra grupos	25.3728	6	4.2288		
Total (Corregido)	29.547	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro $\Delta E'$ en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.493539, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro $\Delta E'$ entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

8.2. Impregnación en EHTPL

Parámetro L^*

Tabla ANOVA para el parámetro L^*

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	14.3838	2	7.19188	5.30	0.0472
Intra grupos	8.1408	6	1.3568		
Total (Corregido)	22.5246	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro L^* en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 5.30062, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro L^* entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro L^*

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
10 min	3	60.8633	X
5 min	3	62.6533	XX
2 min	3	63.9467	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min	*	-3.08333	2.91816
10 min - 5 min		-1.79	2.91816
2 min - 5 min		1.29333	2.91816

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Parámetro a^*

Tabla ANOVA para el parámetro a^*

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.97549	2	1.98774	60.85	0.0001
Intra grupos	0.196	6	0.0326667		
Total (Corregido)	4.17149	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro a^* en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 60.8493, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de a entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro a^*

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
2 min	3	0.466667	X
5 min	3	1.22333	X
10 min	3	2.09333	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min	*	1.62667	0.452798
10 min - 5 min	*	0.87	0.452798
2 min - 5 min	*	-0.756667	0.452798

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes unas de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Parámetro b^*

Tabla ANOVA para el parámetro b^*

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	3.76167	2	1.88083	5.88	0.0385
Intra grupos	1.91873	6	0.319789		
Total (Corregido)	5.6804	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro b^* en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 5.88148, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro b^* entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro b^*

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
5 min	3	22.82	X
2 min	3	23.5867	XX
10 min	3	24.4033	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min		0.816667	1.41672
10 min - 5 min	*	1.58333	1.41672
2 min - 5 min		0.766667	1.41672

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 2 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Parámetro h°

Tabla ANOVA para el parámetro h°

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	20.8323	2	10.4161	56.51	0.0001
Intra grupos	1.10593	6	0.184322		
Total (Corregido)	21.9382	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro h° en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 56.5105, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos.

Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro h° entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.

Pruebas de Múltiple Rangos para el parámetro h°

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
10 min	3	85.1167	X
5 min	3	86.97	X
2 min	3	88.8433	X

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
10 min - 2 min	*	-3.72667	1.07557
10 min - 5 min	*	-1.85333	1.07557
2 min - 5 min	*	1.87333	1.07557

* indica una diferencia significativa.

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95.0 por ciento. También, se identifican 3 grupos homogéneos según la alineación del signo X en la columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan en una misma columna el signo X. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey.

Parámetro $\Delta E'$

Tabla ANOVA para el parámetro $\Delta E'$

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	22.3638	2	11.1819	1.83	0.2389
Intra grupos	36.5703	6	6.09506		
Total (Corregido)	58.9342	8			

La tabla ANOVA descompone la variabilidad del parámetro AE en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 1.83459, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media del parámetro AE entre un nivel de tiempo de impregnación y otro, con un nivel de confianza del 95.0 por ciento.