

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AGROINDUSTRIAL**

**FORMACIÓN DE ACRILAMIDA DURANTE LA
FRITURA DE PAPA (*Solanum tuberosum*) Y CUATRO
RAÍCES AMILÁCEAS SOMETIDAS A ESCALDADO Y
ACIDIFICACIÓN**

Autora: Bach. Nalda Elizabeth Dilas Inga

Asesor: Ms. Grobert Amado Guadalupe Chuqui

Co-asesor: Ms. Segundo Grimaldo Chavez Quintana

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2022

AUTORIZACIÓN DE LA PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Dilas Inga Nalda Elizabeth
DNI N°: 46711208
Correo electrónico: 4671120832@untrm.edu.pe
Facultad: Ingeniería y Ciencias Agrarias
Escuela Profesional: Ingeniería Agroindustrial

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Guadalupe Chgui Grobert Amado
DNI, Pasaporte, C.E N°: 44143035
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0001-7237-4297>

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: Chavez Quintana Segundo Grimaldo
DNI, Pasaporte, C.E N°: 44011631
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0002-0946-3445>

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html
2.11.00 -- OTRAS INGENIERIAS, OTRAS TECNOLOGIAS, 2.11.01-- ALIMENTOS Y BEBIDAS

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC. Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas,/...../.....


Firma del autor 1

Firma del Asesor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 2



DEDICATORIA

A mi Madre, Casilda Inga Chuquizuta, quien fue mi motor y motivo para mi camino hacia la superación, la que me impulsó a seguir batallando y vencer obstáculos en este largo recorrido hacia mi realización profesional y fue mi mayor ejemplo de perseverancia y humildad.

A mi padre Eduardo Fausto Dilas Cerna, por sus sabios consejos, su templanza su apoyo, fortaleza y compañía en esta aventura llamada vida.

A ellos, por su gran esfuerzo y amor incondicional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por otorgarme vida, salud y fortaleza para perseverar en los objetivos que me he propuesto para la formación de mi carrera académica universitaria.

A mis padres y seres queridos que fueron de alguna manera partícipes en el camino de mi formación profesional.

Al Ing. Ms. Grobert Amado Guadalupe Chuqui, en su condición de asesor, por sus enseñanzas, observaciones y sugerencias durante todo este proceso de alcanzar una meta más y concretar este trabajo.

Al Ing. Ms. Segundo Grimaldo Chávez Quintana, en condición de Coasesor, por su amistad, asesoramiento y conocimientos aplicados a este trabajo y por sus consejos que fueron de gran ayuda.

A personas importantes en mi vida que colaboraron conmigo a través de su cariño, amor, amistad y su apoyo moral; a Oscar y Natalia.

A mi alma mater, la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, lugar donde he podido forjar mis conocimientos profesionales durante mi estadía, por brindarme una educación superior de calidad y docentes que fortalecieron aún más como persona y profesional.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ
DE MENDOZA**

Dr. Policarpio Chauca Valqui

Rector

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Vicerrector Académico

Dra. Flor Teresa García Huamán

Vicerrectora de Investigación

Ing. Mg. Sc. Armstrong Barnard Fernandez Jeri

Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Formación de acrilamido durante la fritura de papa (*Solanum tuberosum*) y cuatro raíces amiláceas sometidas a escaldado y acidificación; del egresado Bach. Nalda Elizabeth Dilas Inga de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 09 de Agosto de 2022

Firma y nombre completo del Asesor
Grobert Amado Guadalupe Chugui

VISTO BUENO DEL CO-ASESOR DE LA TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Formación de acrilamido durante la fritura de papa (*Solanum tuberosum*) y cuatro raíces amiláceas sometidas a escaldado y acidificación del egresado Bach. Nalda Elizabeth Dilas Inga de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 09 de Agosto de 2022


Firma y nombre completo del Asesor
Segundo Grimaldo Chavez Quintana

JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Ing. Ms. Sc. Armstrong Barnard Fernández Jeri

PRESIDENTE



Ing. Mg. Guillermo Idrogo Vázquez

SECRETARIO



Ing. Ms. Robert Javier Cruzalegui Fernández

VOCAL

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

FORMACIÓN DE ACELAMIDA DURANTE LA FRITURA DE PAPA (*Solanum tuberosum*)
Y CUATRO RAÍCES AMILÁCEAS SOMETIDAS A ESCALDADO Y ACIDIFICACIÓN.

presentada por el estudiante ()/egresado (X) _____

de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial

con correo electrónico institucional 4671120832 @ untrm . edu. pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 24 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 07 de Septiembre del 2022

SECRETARIO

VOCAL

PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 04 de Octubre del año 2022, siendo las 11:00 horas, el aspirante: Nalda Elizabeth Dilar Inga, asesorado por Grobert Amado Ewaldulpe Chugui defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia () la Tesis titulada: Formación de acrilamida durante la fritura de papa (Solanium tuberosum) y cuatro raíces amiláceas sometidas a cocinado y acidificación para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Ing. Mg. Dr. Armstrong Burnard Fernández Jari

Secretario: Ing. Guillermo Idrogo Vázquez

Vocal: Ing. Mg. Robert Javier Cruzlegui Fernández



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (X) por Unanimidad (X)/Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12:10 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
VOCAL

[Signature]
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

INDICE DEL CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE LA PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	vi
VISTO BUENO DEL CO-ASESOR DE LA TESIS	vii
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	x
INDICE DEL CONTENIDO	xi
INDICE DE TABLAS	xii
INDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	19
2.1. Material de estudio	19
2.2. Métodos	19
III. RESULTADOS	21
IV. DISCUSIÓN.....	26
V. CONCLUSIÓN	28
VI. RECOMENDACIÓN.....	29
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
ANEXOS	32

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos analíticos de la solución estándar de acrilamida.	21
Tabla 2. Contenido de acrilamida por materia prima y pretratamientoContenido de acrilamida por materia prima y pretratamiento.....	24
Tabla 3. <i>Análisis de varianza de contenido de acrilamida</i>	32

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Recta de calibración de estándar de acrilamida.....	22
Figura 2 Cromatogramas HPLC de Acrilamida; (A) acrilamida estándar 400 ppm, (B) acrilamida estándar 600 ppm, (C) arracacha frita escaldado.....	22
Figura 3 Chips fritos de papa, yuca, camote, bituca, y arracacha, con pretratamientos de escaldado e inmersión en ácido cítrico	23
Figura 4 Concentraciones de acrilamida formadas en papas y cuatro raíces amiláceas sometidas a dos pretratamientos	25

RESUMEN

En esta investigación se trabajó con 4 tipos de raíces amiláceas y papa, teniendo como principal objetivo cuantificar la formación de acrilamida durante la fritura de las mismas sometidas a dos pretratamientos, escaldado (90°) y acidificación (1.5% Ácido cítrico) con un diseño factorial 5x2, con 3 repeticiones, obteniendo un total de 30 unidades experimentales, las cuales finalmente arrojaron diversos resultados, como lo es el caso de la yuca con los pretratamientos de escaldado y ácido, con sus respectivos valores de $7.533 \pm 0.323h$ / $20.547 \pm 1.058h$ pues no presentaron variación ni diferencia estadística, es decir son muestras homogéneas; sin embargo, en el caso de la arracacha ($168.399 \pm 9.643g$ / $209.050 \pm 1.457f$), papa ($173.233 \pm 1.914g$ / $257.267 \pm 2.136e$), bituca ($635.633 \pm 8.971d$ / $738,203 \pm 9,465c$) y camote ($795.637 \pm 5.912b$ / $948.300 \pm 2.338a$), si existe variación luego de la aplicación de los pre tratamientos. Se concluye que ambos pretratamientos de escaldado a 90° y acidificación con ácido cítrico al 1.5% influyeron en la mitigación de la formación de acrilamida.

Palabras clave: acrilamida, raíz amilácea, escaldado, acidificación

ABSTRACT

In this research, we worked with 4 types of starchy roots and potatoes, with the main objective of quantifying the formation of acrylamide during frying, subjected to two pretreatments, blanching (90°) and acidification (1.5% citric acid) with a design 5x2 factorial, with 3 repetitions, obtaining a total of 30 experimental units, which finally yielded different results, as is the case of cassava with blanching and acid pretreatments, with their respective values of $7.533 \pm 0.323h$ / $20.547 \pm 1,058h$ because they did not present variation or statistical difference, that is, they are homogeneous samples; however, in the case of arracacha ($168,399 \pm 9,643g$ / $209,050 \pm 1,457f$), potato ($173,233 \pm 1,914g$ / $257,267 \pm 2,136e$), bituca ($635,633 \pm 8,971d$ / $738,203 \pm 9,465c$) and sweet potato ($795.63 \pm 5,912b$ / $948,300 \pm 2,338a$), if there is variation after the application of the pre-treatments. It is concluded that both pretreatments of blanching at 90° and acidification with 1.5% citric acid influenced the mitigation of acrylamide formation.

Keywords: acrylamide, starchy root, blanching, acidification

I. INTRODUCCIÓN

Sansano (2016) indica que el inicial contenido de azúcares reductores coartan el tiempo optimo en la fritura, juntamente a ello evaluó que el escaldado es el pretratamiento más eficaz que logra disminuir la cantidad inicial de azúcares reductores en la materia prima fresca, en este caso la papa, que fue sumergida en diluciones de ácido cítrico al 2% y sometida a una alta temperatura durante poco tiempo; señalando que un pretratamiento excelente es aquel que mantiene las características organolépticas del alimento que se fríe y que reduce la formación de acrilamida.

La unión del aminoácido asparagina y azúcares reductores a elevadas temperaturas forman en los alimentos la acrilamida, mediante la reacción de Maillard, este compuesto actualmente está denominado un contaminante neo formado o del proceso en algunos alimentos que mayormente contienen cantidades apreciables de almidón, pero que son bajos o pobres en cantidad de proteínas, y que posteriormente son sometidos a temperaturas mayores a 120° C (Chaves, Irias, & Arias, 2015).

De acuerdo con la investigación de Mesias & Morales, (2019), el nivel de azúcares reductores tiene que ser de 2,5g/kg en papas con proceso de fritura, puesto que tecnológicamente permitirá la reducción de acrilamida, debido al nivel crítico del parámetro que debe mantenerse en menor cantidad posible. La variabilidad regional y la estación de siembra son influyentes en obtener cultivos o materia prima con contenido muy bajo de azúcares reductores, que se pueden seleccionar para los procesos de cocción(fritura) a temperaturas elevadas reduciendo la formación de acrilamida (Codex Alimentarius, 2009).

Núñez 2001 citado en Masson et al., (2007a) menciona que mediante el escaldado se eliminan o reducen de modo relevante el azúcar reductor. El pretratamiento del escaldado en agua caliente antes de que se fríen las papas a una temperatura de 120°C, permitió disminuir la formación de acrilamida pero demostraron una calidad sensorial no apetecible; obtuvieron concentraciones de acrilamida en 68% a 120° 75% a 150 °C y 49% a 180 °C (Pedreschi et al., 2005 citado en (Masson et al., 2007b)).

Para menguar el contenido final o formación de acrilamida en los valores obtenidos de 85% y 99,5% , se integró consecutivamente pretratamientos, en cuanto al prelavado con agua destilada por el lapso de un minuto a temperatura ambiente, el escaldado a 90°C por

el tiempo de un minuto y la inmersión de la materia prima en ácido cítrico al 0,25% p/v por 60 minutos, también a temperatura ambiente (Muñoz, 2007)

Según Gertz et al., 2003 citado en (Masson et al., 2007c), el pH ácido sobre la inhibición de la presencia del pardeamiento no enzimático disminuye la rapidez de reacción entre el azúcar reductor y los grupos de aminoácidos al añadir ácidos orgánicos, por ello el ácido cítrico incita la disminución de la formación de acrilamida en productos fritos.

Lora et al., (2008) evaluaron el efecto de dosis de micronutrientes en el contenido de azúcares reductores de la papa criolla tales como Fe, Cu, Mn, Zn, B y Mo y su efecto en la calidad de fritado, teniendo como resultados azúcares reductores inferior a 0,25%, que mostro buena calidad en base seca para la industria de fritado, destacándose los niveles de 16-24kg-Cu ha⁻¹, 5-10kg-Fe ha⁻¹, 5kg-Zn ha⁻¹ y 0,8kg-B ha⁻¹.

Según Cieza & Diaz (2018) analizaron azúcares reductores en cascara de papa, mediante dos métodos, el primero por hidrolisis químico y por hidrolisis enzimático, teniendo como resultado valores máximos de 2.93657 y 10.0939 mg de azúcar reductores por ml de solución respectivamente, a nivel de análisis de varianza.

Según Isique & Sing (2017) evaluaron la producción de azúcares reductores en tubérculos de papa, yuca y camote a diferentes concentraciones de ácido sulfúrico H₂SO₄ (5, 15 y 20), y también a diferentes temperaturas (60°C, 75°C y 90°C) y diferente tiempo (2h y 4h), dando como resultado de la evaluación que el tratamiento más eficiente fue al 5% de concentración de H₂SO₄, tiempo de 4 horas y a temperatura de 90°C.

Ríos & Zelada (2017) analizaron porcentajes de los azúcares reductores de tres tipos de almidón (yuca, camote y papa), que fueron obtenidos después del proceso enzimático de sacarificación de los almidones, concluyeron que con mayor porcentaje de azúcares reductores fue de yuca (20.382) seguidamente papa (18.829%) y con menor valor camote (17.111%), esto es debido al almidón comprendido en la yuca que demostró ser muy susceptible al ataque con alfa amilasa ensayada

La arracacha es una raíz rica en amilopectina, que presenta buenas propiedades en cuanto a ser una fuente de almidón, con características suaves, elásticas, con buena claridad, capacidad de hinchar, una viscosidad óptima y gelatinización a temperaturas bajas como 60° C, siendo así apta para el uso industrial (Casthna, 2018)

(Calle, 2019) señaló que el excelente valor nutricional de la colocasia es una buena opción para elevar el valor nutricional de los panes GF, debido a que demostró tener una buena digestión del almidón y además de ello está libre de gluten, indicó también que el tipo de proteasa añadido a la harina de esta raíz va influir en el volumen que tome el pan y la suavidad de la miga, como la Endoproteasa y la alcalasa respectivamente, obteniendo resultados muy favorables en cuanto a la calidad del producto para procesos industriales.

El principal objetivo de la presente investigación fue cuantificar la formación de acrilamida durante la fritura de chips de papa, camote, yuca, bituca y arracacha; sometidas a dos pretratamientos, tales como: escaldado (90°) por un minuto y acidificación (1.5% Ácido cítrico) trabajando con productos oriundos de la región Amazonas, para darles un posterior valor agregado que cumplan con las medidas de salud establecidas por la UE.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material de estudio

Muestras y materiales

Se emplearon 5 tipos de materia prima (papa, camote, yuca, bituca y arracacha) y aceite vegetal para freír. La materia prima se lavó, peló y cortó en formas de chips para posteriormente freír. Los chips se cortaron con ayuda de un cortador hasta un espesor de 0,7 mm y se obtuvo círculos de chips con un diámetro de 2,5 cm.

2.2. Métodos

a) Pretratamiento

Se realizaron los siguientes pretratamientos: 1) escaldado en agua destilada a 90 °C por 1 minuto en un 1 Litro por inmersión, agitando permanente; 2) inmersión en ácido cítrico 1.5% por 1 hora en un 1 Litro, con agitación ocasional.

b) Fritura en aceite

Se llevó a cabo a 180 °C en una freidora por inmersión en aceite, el cual se calentó hasta la temperatura indicada. Una vez que el aceite alcanzó la temperatura de fritura, se llevó a cabo los experimentos de fritura de chips de la papa y las cuatro raíces amiláceas que fueron sometidos a los pretratamientos anteriormente descritos. El aceite de las frituras se cambió cada 2 experimentos. El tiempo óptimo para freír se seleccionó en función de la característica organoléptica de color y al verificar la cocción de cada tipo de materia prima.

c) Para la extracción de acrilamida

Se utilizó el estándar al 99% de pureza de acrilamida (comprado en Merck), el n- Hexano grado HPLC al 99% de pureza (Merck) y también agua ultrapura tipo I (sistema MilliQ). La solución Carrez consistió en una mezcla entre cloruro de sodio NaCl y sulfato de magnesio MgSO₄(ambos de Merck).

Se prepararon soluciones con 8,2 mg de estándar de acrilamida que fue disuelta en agua ultrapura tipo I, hasta llegar al volumen de 25 ml de una fiola, para poder obtener finalmente una concentración de 328 mg L⁻¹, que se consideró la solución madre; de la cual se hicieron nueve diluciones de 50, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400 y 1600 µg L⁻¹, de concentración respectivamente. De las muestras de papa y las 4 raíces amiláceas

que se trituraron previamente, fue tomado 1 gr, al cual se le agrego 10 mL de agua y se llevó a vórtex por 2 min. Posteriormente fue añadido la mezcla de 4 g de $MgSO_4$ y 0,5 g de NaCl (carrez) y se volvió a agitar durante otros 2 minutos en el vórtex, para luego llevar las muestras a la centrifuga durante 5 minutos a una revolución de 5000 rpm. Seguidamente se tomaron la fase acuosa de las muestras, que luego fueron transferidas a los 2 mL de n- Hexano contenidos en otro tubo falcón, esta muestra se llevó a vórtex por 2 min, después se hizo una nueva extracción, retirando la parte acuosa para colocarla en un nuevo tubo falcón que se llevó a vórtex por 2 min y se centrifugo por 3 minutos a una velocidad de 5000 rpm. Como paso final se tomo 2 mL del sobrenadante de éste y se colocó en vasos de precipitación que fueron llevados a la estufa a una temperatura de 50 °C hasta que seque, una vez seca la muestra se enjuago los vasos con agua pura tipo I, obteniendo así una solución que se pasó por un filtro PVDF de 0,45 μm a un vial para su análisis respectivo mediante HPLC (Patiño Arias, 2019).

2.3.Análisis de datos

Los datos se analizaron bajo el arreglo factorial de 5x2, con 3 repeticiones, siendo a = tipo de materia prima (papa, camote, yuca, bituca y racacha) y b = pretratamiento (escaldado a 90°C y acidificación al 1.5%); y variable de respuesta: contenido de acrilamida mediante HPLC. Para determinar el efecto de los tratamientos, las respuestas se analizaron en un libro de trabajo en Microsoft Excel, los datos preparados se importaron a SPSS como software estadístico y se realizó el análisis de varianzas y ANOVA mediante el método de comparaciones múltiples de tukey

III. RESULTADOS

3.1. LOD (límite de detección), LOQ (límite de cuantificación), recuperación y porcentaje de coeficiente de correlación

Para detectar y cuantificar la acrilamida se utilizó el detector DAD (diode array Detection) en HPLC. La curva de calibración lineal de nueve niveles de concentración, con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9854 y el área del pico se correlaciona linealmente con la concentración de acrilamida, como se muestra en la Figura 1. El LOD (límite de detección) y LOQ (límite de cuantificación), SD (desviación estándar de la respuesta), la pendiente de la curva de calibración (S), el error estándar (SE) y la precisión. El LOD y el LOQ se calcularon utilizando la fórmula ($3,3 \times SD$ por S) y ($10 \times SD$ por S) respectivamente. Los valores de LOD y LOQ son 3,733 y 11,045 (ppm), respectivamente. Además, el porcentaje de recuperación se llevó a cabo aplicando 9 cantidades conocidas de acrilamida estándar (50 – 1600 ppm) a la muestra de agua en blanco y se ejecutó en HPLC. El rango de recuperación es de 98 por ciento a 110 por ciento con un valor de corrección inferior al 10 por ciento. Utilizando el método anterior para la cuantificación por HPLC, se extrajeron las muestras y todas mostraron picos de cromatogramas claros en ese tiempo de retención.

Tabla 1

Datos analíticos de la solución estándar de acrilamida.

Estándares	Concentración ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	Área
9	1600	3157773
8	1400	2695304
7	1200	2317562
6	1000	1645763
5	800	1454593
4	600	1312936
3	400	533837
2	200	269176
1	50	13275

Figura 1

Recta de calibración de estándar de acrilamida.

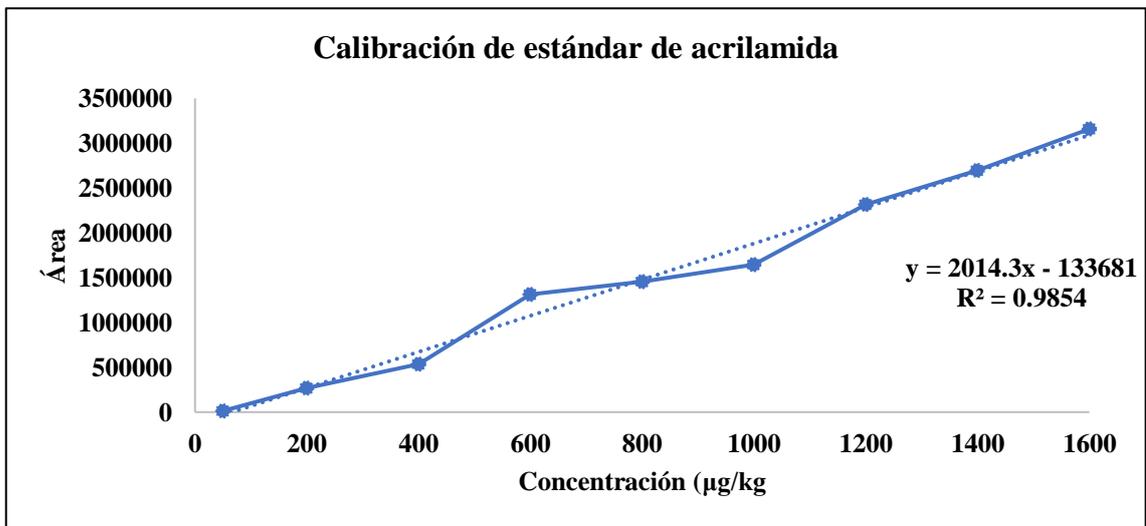
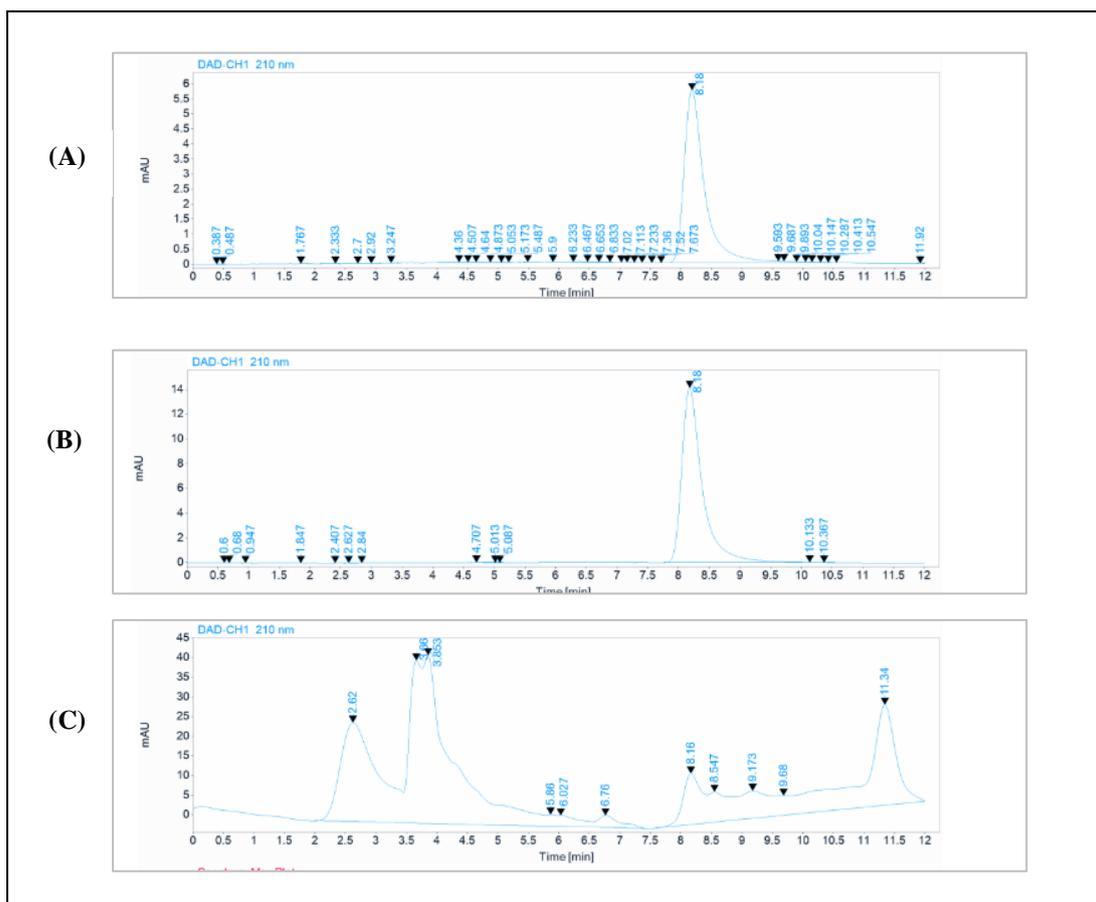


Figura 2

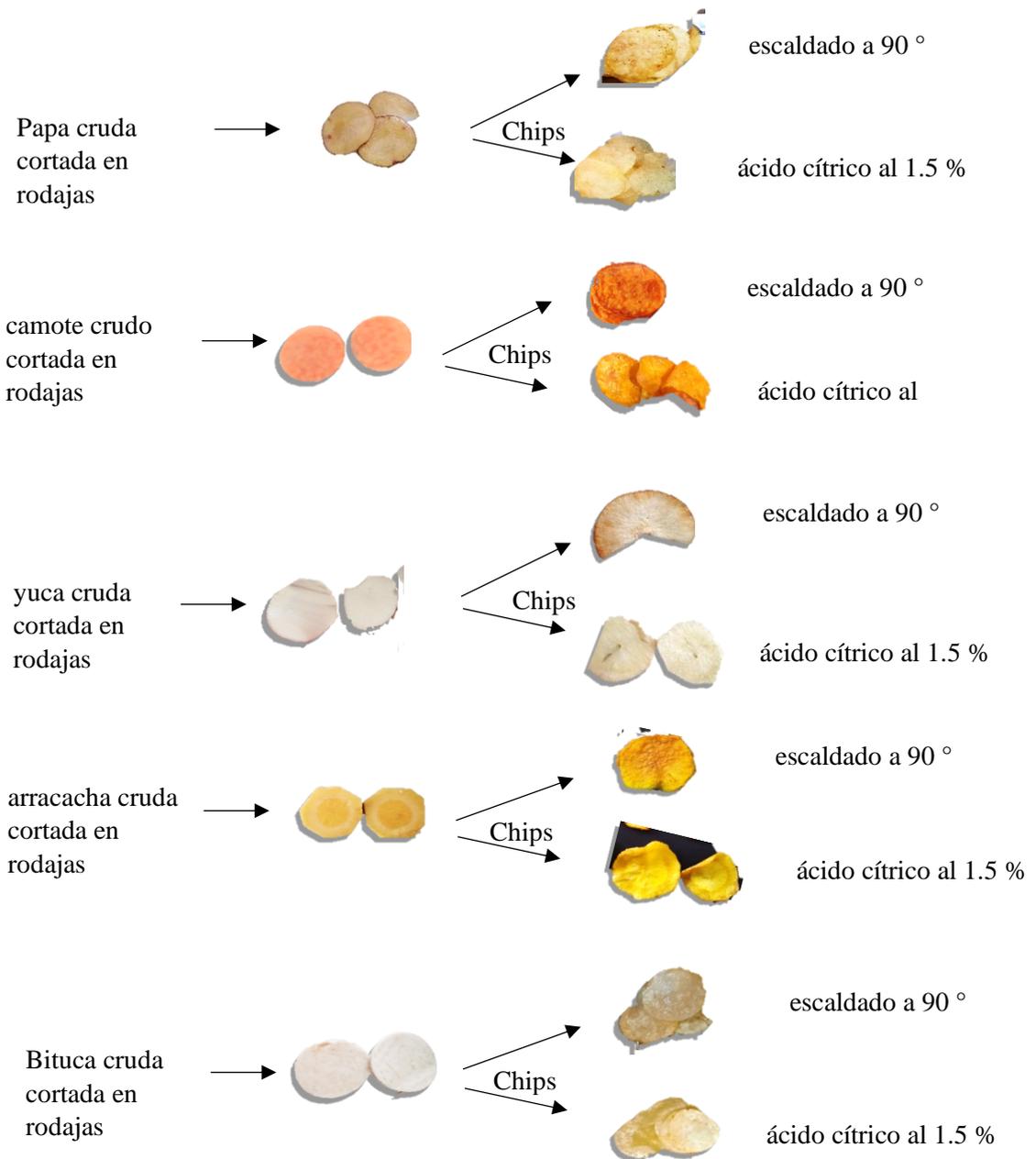
Cromatogramas HPLC de Acrilamida; (A) acrilamida estándar 400 ppm, (B) acrilamida estándar 600 ppm, (C) arracacha frita escaldado.



3.2. Cuantificación de acrilamida en papa y cuatro raíces amiláceas

Figura 3

Chips fritos de papa, yuca, camote, bituca, y arracacha, con pretratamientos de escaldado e inmersión en ácido cítrico



En la tabla 2 se muestran los valores medios resultantes del análisis de varianza (ANOVA), incluido el F-ratio, obtenidos para la acrilamida de papa y cuatro raíces amiláceas. Cuanto mayor sea el F-ratio (cociente entre la variabilidad debida al efecto considerado y la varianza residual), mayor será el efecto que tiene un factor sobre una variable. De acuerdo con esto, la yuca con los pretratamientos de escaldado y ácido, no presentaron variación ni diferencia estadística, es decir fueron muestras homogéneas, sin embargo, en el caso de arracacha, la papa, bituca y camote, si existe variación luego de la aplicación de los pretratamientos.

Tabla 2

Contenido de acrilamida por materia prima y pretratamiento

Chips fritos	Pretratamiento	
	Escaldado	Acido
	Contenido $\mu\text{g}/\text{kg}$	Contenido $\mu\text{g}/\text{kg}$
Yuca	$7.533 \pm 0.323^{\text{h}}$	$20.547 \pm 1.058^{\text{h}}$
Arracacha	$168.399 \pm 9.643^{\text{g}}$	$209.050 \pm 1.457^{\text{f}}$
Papa	$173.233 \pm 1.914^{\text{g}}$	$257.267 \pm 2.136^{\text{e}}$
Bituca	$635.633 \pm 8.971^{\text{d}}$	$738,203 \pm 9,465^{\text{c}}$
Camote	$795.637 \pm 5.912^{\text{b}}$	$948.300 \pm 2.338^{\text{a}}$
<i>F-ratio</i>	11499,040***	

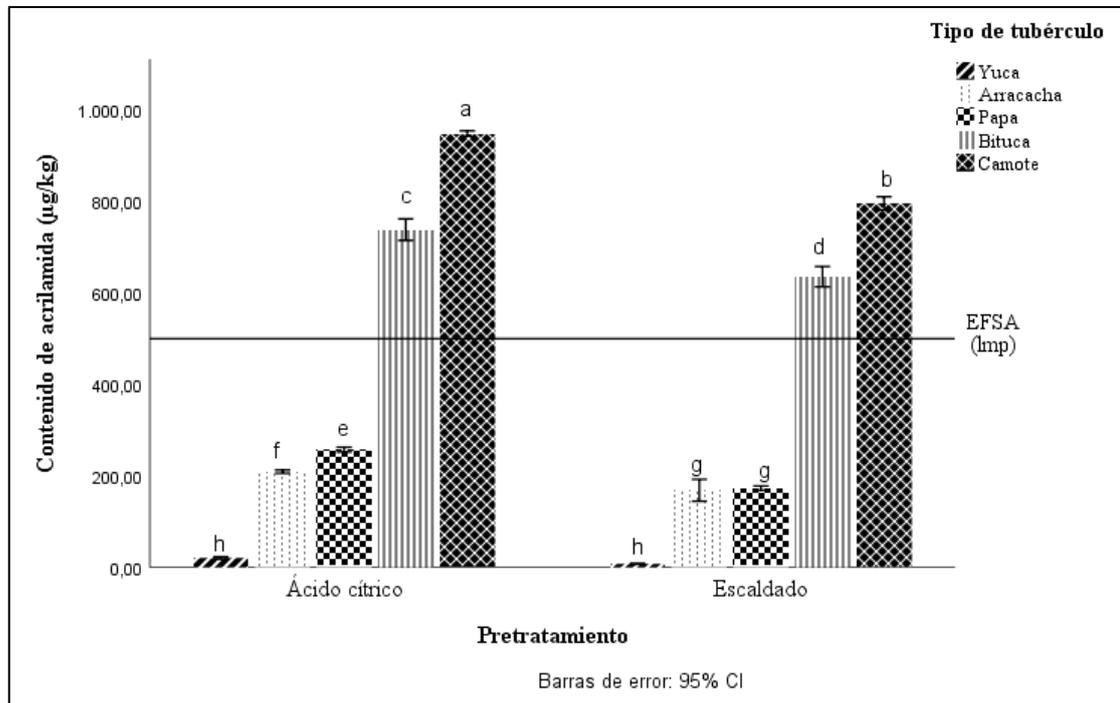
Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas con un nivel de confianza del 95 % obtenido mediante Test de Tukey, $p < 0.05$

*** $p < 0.001$

El valor medio de acrilamida en chips de arracacha, papa, bituca y camotes sometidos al pretratamiento de escaldado fueron más bajos que las sometidas al pretratamiento de ácido cítrico. Estadísticamente se encontraron diferencias significativas entre el valor medio de acrilamida sometidas a dos pretratamientos ($p > 0.05$). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en los niveles de acrilamida sometidas a pretratamientos en los chips de yuca. Dentro de las muestras, el porcentaje de muestras con una concentración de acrilamida por encima de los valores recomendados por la EFSA (500 μg por kg) fue en los chips de bituca y camote (Comisión Europea, 2017).

Figura 4

Concentraciones de acrilamida formadas en papas y cuatro raíces amiláceas sometidas a dos pretratamientos



IV. DISCUSIÓN

Los valores de acrilamida en las muestras de control de zanahoria ($224 \pm 47 \mu\text{g kg}^{-1}$) y calabaza ($514 \pm 83 \mu\text{g kg}^{-1}$) fueron significativamente más bajos que en las muestras de papas fritas ($3887 \pm 509 \mu\text{g kg}^{-1}$), los diferentes tratamientos de mitigación tuvieron efectos en chips de papa y calabaza, siendo las estrategias más efectivas las opciones de remojo y la disminución del pH del medio (Mesías, Delgado, & J morales, 2018). Así mismo ocurrió en las muestras de yuca ($7.533 \pm 0.323 \mu\text{g kg}^{-1}$ y $20.547 \pm 1.058 \mu\text{g kg}^{-1}$) y arracacha ($168.399 \pm 9.643 \mu\text{g kg}^{-1}$ y $209.050 \pm 1.457 \mu\text{g kg}^{-1}$) sometidas a ambos tratamientos de escaldado a 90° y acidificación en ácido cítrico que obtuvieron valores significativamente más bajos que de la papa $257.267 \pm 2.136 \mu\text{g kg}^{-1}$ y $173.233 \pm 1.914 \mu\text{g kg}^{-1}$.

Las materias primas que mostraron niveles notables de acrilamida y pardeamiento no enzimático incluyeron camote frito, chips de plátano del producto fresco, con sus respectivos valores de pardeamiento no enzimático y acrilamida respectivamente de $0,095 \pm 0,006$ de una densidad óptica (DO), $1043 \pm 47,6$ partes por billón (ppb); $0,034 \pm 0,03$, $568 \pm 22,9$ ppb; los productos de raíces y tubérculos tuvieron niveles relativamente altos de pardeamiento no enzimático y acrilamida mientras que los productos de plátano mostraron niveles bajos de pardeamiento no enzimático y acrilamida (Quayson & Ayernor, 2007). Del mismo modo ocurre con las muestras sometidas a los pretratamientos en la presente investigación dado es el caso de la papa y las 4 raíces amiláceas sometidas a la inmersión en ácido cítrico al 1.5 %, las cuales tuvieron niveles relativamente altos de formación de acrilamida concordando con el autor antes mencionado.

Para reducir el contenido final o formación de acrilamida en los valores obtenidos de 85% y 99,5%, se integró consecutivamente pretratamientos, en cuanto a prelavado con agua destilada por el lapso de un minuto a temperatura ambiente, el escaldado a 90°C por el tiempo de un minuto y la inmersión de la materia prima en ácido cítrico al 0,25% p/v por 60 minutos, también a temperatura ambiente (Muñoz, 2007). Estos datos concuerdan con los pretratamientos aplicados a las diferentes muestras, en cuanto a temperatura y porcentaje de inmersión.

En estos últimos años se emplearon diferentes técnicas de análisis para cuantificar acrilamida en productos alimenticios; la técnica cromatográfica es una de ellas, y por ende

es el método que más se hace uso, esto es debido a la alta sensibilidad que depende, en gran mayoría, de la selección de detectores adecuados; el contenido de acrilamida encontrado en los snacks de papa estudiados está por debajo del valor de referencia establecido en el reglamento de la Unión Europea, (Patiño Arias, 2019). Estando de acuerdo con el autor, al hacer el análisis de la muestra de papa a través de la cromatografía líquida, se obtuvo valores de $257.267 \pm 2.136 \mu\text{g kg}^{-1}$ (pretratamiento con ac. cítrico) y $173.233 \pm 1.914 \mu\text{g kg}^{-1}$ (con pretratamiento de escaldado) que son valores que están por debajo de la referencia establecida por la Unión Europea.

La influencia de la FMTE sobre la fritura al vacío se vio reflejada en el contenido de acrilamida y de aceite, ya que, para uno y otro parámetros existieron diferencias significativas ($p \text{ value} \leq 0,05$) con la fuerza motriz 70°C y las fuerzas motrices de 60°C y 50°C , pero estas dos últimas no tuvieron diferencias significativas ($p \text{ value} \leq 0,05$) este resultado fue debido principalmente a que influyó la temperatura y la pérdida de humedad, a medida que se incrementan las temperaturas de trabajo. (Muñoz Gonzáles, 2015). Los datos analizados concuerdan estadísticamente y se encontraron diferencias significativas entre el valor medio de acrilamida sometidas a dos pretratamientos ($p > 0.05$). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en los niveles de acrilamida sometidas a pretratamientos en los chips de yuca.

Vandana Verma, (2022), indica que todos los resultados del estudio confirmaron que la AA (acrilamida) generalmente se encuentra alto en los productos alimenticios fritos y horneados que se consumen; todas las muestras de patatas fritas y más del 50 % de las galletas horneadas contienen niveles de AA por encima del valor indicativo de las normas europeas, estas muestras consisten en contaminante AA cancerígeno $1143.15 \mu\text{g}$ por kg con el contenido más alto en papas fritas. Estando en desacuerdo con el autor debido a que, con los pretratamientos realizados a las muestras, tres de estas como son la yuca, arracacha incluido la papa dieron valores de acrilamida por debajo de los valores establecidos por la Unión Europea.

V. CONCLUSIÓN

- El pretratamiento de escaldado (Temperatura 90 °C) fue donde se encontró menor concentración de acrilamida en las muestras analizadas.
- El pretratamiento de acidificación (Inmersión en ácido cítrico al 1.5%) aplicado a la papa y las raíces amiláceas fue donde se obtuvo más formación de acrilamida pasando por encima de los valores recomendados por la EFSA en el caso de la bituca y camote.
- La yuca fue la única raíz que al ser sometida a ambos pretratamientos de escaldado y acidificación no presentó variación ni diferencia estadística, es decir fueron muestras homogéneas.
- Ambos pretratamientos de escaldado a 90° y acidificación con ácido cítrico al 1.5% influyeron en la mitigación de la formación de acrilamida.

VI. RECOMENDACIÓN

- Recolectar materia prima en óptimas condiciones que nos permitan trabajar de manera eficiente.
- Aplicar los pretratamientos con los parámetros adecuados para obtener una mayor efectividad en los resultados.
- Utilizar en proporciones exactas los reactivos para la obtención de concentración de acrilamida en HPLC.
- Trabajar en un ambiente inocuo para evitar la contaminación cruzada de las muestras analizadas

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Lora Silva , R., López Alayón, A. P., Gómez, R., & Bernal, H. (2008). *Efecto de dosis de Fe, Cu, Mn, Zn, B y Mo en el contenido de azúcares reductores y totales y en la calidad de fritado en papa criolla (Solanum phureja)*. Cundinamarca.
- Calle, J. (2019). Development of gluten free breads from Colocasia esculenta flour blended with hydrocolloids and enzymes. (F. Hydrocolloids, Ed.) *ELSEVIER*.
- Casthna, N. (2018). Structure and properties of starches from Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) roots. (sciencedirect, Ed.) *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.015>
- Chaves, C., Irias, A., & Arias, M. L. (2015). *Formación de acrilamida durante el procesamiento de alimentos*. Universidad de Costa Rica. Obtenido de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rcsp/v25n2/1409-1429-rcsp-25-02-00028.pdf>
- Cieza García , R. F., & Diaz Rodríguez , G. J. (2018). *Obtención de azúcares reductores a partir de cáscara de papa (solanum tuberosum) por hidrólisis química y enzimática*. Pimentel-perú.
- Codex Alimentarius. (2009). *Código de prácticas para reducir el contenido de acrilamida en los alimentos*. Cxp-067s codex.
- Dobarganes, C., & Marquez, G. (2000). *Interactions between fat and food during deep-frying*.
- Isique Valverde, M. J., & Sing Lezama, J. L. (2017). *Influencia de la hidrólisis química en las características fisicoquímicas y funcionales de los residuos industriales de papa, camote y yuca*. Nuevo chimbote-perú.
- Masson et al. (2007). *Grasas y aceites*. Universidad de Chile., Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química,, Santiago.
- Mesías, M., Delgado, C., & J morales, F. (2018). Matrices alimentarias alternativas para formulaciones de snacks en términos de formación y mitigación de acrilamida. *Revista de la ciencia de la alimentación y la agricultura* doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.9354>
- Mesias, M., Delgado-Andrade, C., Holgado, F., & Morales, F. (2019). *Acrylamide content in French fries prepared in food service establishments*. Institute of Food Science, Technology and Nutrition (ICTAN-CSIC), Madrid- Spain. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002364381830896X>

- Muñoz Gonzáles, C. B. (2015). *Mitigación de la formación de acrilamida en hojuelas de papas mediante el uso de fritura al vacío*. UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Muñoz, J. (2007). *Reducción del contenido de acrilamida en hojuelas de papas fritas por aplicación de pretratamientos y diferentes temperaturas de fritura*. Universidad de Chile, Chile.
http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/101690/munoz_j.pdf?sequence=4
- Patiño Arias, L. P. (2019). Estudio de los parámetros de extracción de acrilamida en snack de papa (*Solanum tuberosum*) en Colombia. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*.
- Quayson, E. &. (s.f.). Pardeamiento no enzimático y acrilamida estimada en raíces, tubérculos y productos de plátano. 105.
- Rios Ramos, E. P., & Zelada Romero, H. M. (2017). “*Determinación del rendimiento de glucosa por hidrólisis enzimática de almidones de yuca (Manihot esculenta), camote (Ipomoea batatas) y papa (Solanum tuberosum)*”. Lambayeque-Perú.
- Sansano Tomas, M. (2016). *Estudio de la influencia del tipo de pretratamiento sobre la reducción de la generación de acrilamida durante la fritura de patatas en aceite*. Universidad Politécnica de Valencia, Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, Valencia.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2007). *Técnicas Cromatográficas*.
http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/M.Cromatograficos_6700.pdf
- Vandana Verma, N. Y. (2022). Contenido de acrilamida en alimentos comerciales a base de almidón mediante el uso de cromatografía líquida de alta resolución y su asociación con el índice de pardeamiento. *Current Research in Food Science*, 5, 464-470
[doi:https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.010](https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.010).

ANEXOS

Anexo 1. Cuadro estadístico de análisis de acrilamida

Tabla 3

Análisis de varianza de contenido de acrilamida

Análisis de varianza					
Variable dependiente: Contenido de acrilamida					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3260292,27 2 ^a	9	362254,697	11499,04 0	,000
Intersección	4689766,28 2	1	4689766,28 2	148867,1 14	,000
Pretratamiento	46318,390	1	46318,390	1470,283	,000
Tipo	3196227,06 8	4	799056,767	25364,43 6	,000
Pretratamiento * Tipo	17746,814	4	4436,703	140,834	,000
Error	630,061	20	31,503		
Total	7950688,61 4	30			
Total corregido	3260922,33 3	29			

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

Anexo 2. Tomas fotográficas

Muestras crudas para el pretratamiento de escaldado



muestras crudas sumergidas en ácido cítrico



Muestras con pretratamiento de escaldado



Muestras fritas sumergidas en ácido cítrico



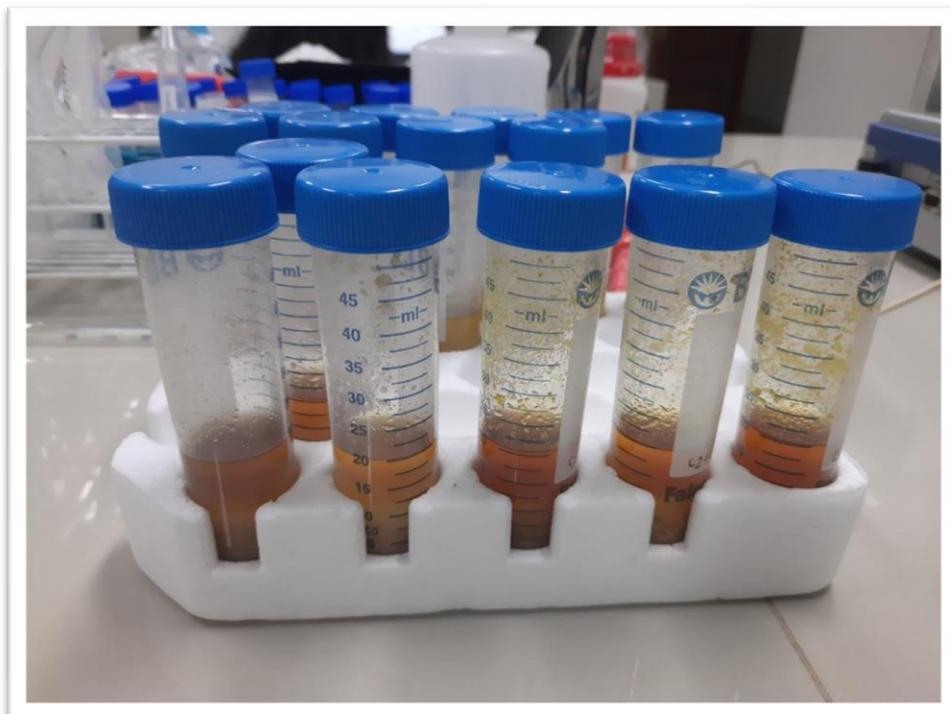
Muestras fritas embolsadas



Muestras molidas para análisis de acrilamida



procesamiento de muestras para la extracción del sobrenadante



Tubo de falcón, listo para extraer el sobrenadante a analizar



Pasando el sobrenadante por el filtro a los viales



Análisis de las muestras en el HPLC de la Universidad Nacional Fabiola Salazar de Bagua

