



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

INGENIERÍA EN ALIMENTOS

**EFFECTO DE LA COMPOSICIÓN Y CONTENIDO DE
ANTIOXIDANTES DE PAPAS CHILOTAS SOBRE EL
CONTENIDO DE NEOCONTAMINANTES EN HOJUELAS
DE PAPAS FRITAS**

Proyecto de memoria para optar al título de Ingeniero en Alimentos

PROFESOR PATROCINANTE

Andrea Bunger T.

Departamento de Ciencia de los
Alimentos y Tecnología Química.
Universidad de Chile.

DIRECTORES DE MEMORIA

Andrea Bunger T.

Departamento de Ciencia de los
Alimentos y Tecnología Química.
Universidad de Chile.

Franco Pedreschi P.
Departamento de Ingeniería
Química y Bioprocesos.
Pontificia Universidad Católica de
Chile

JOSÉ TOMÁS MALLEA VELÁSQUEZ

Santiago - Chile

2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, quienes a pesar de todo han sido pacientes y me han apoyado durante todo este proceso. Especial agradecimiento a mi mamá, que en paz descanse, que no alcanzó a ver el final de este proceso, pero me aseguraré de terminarlo.

A mis directores de memoria, Msc. Andrea Bungler, por siempre estar presente durante el proceso y apoyarme para poder sacar esto adelante. Y Dr. Franco Pedreschi, por siempre resolver las dudas que le hacía llegar, así como también facilitar sus instalaciones para la realización del proceso.

A mis amigos que siempre se preocuparon constantemente de mis avances y brindándome su apoyo para poder terminar exitosamente el proceso.

A Juan Pablo Gómez, quien me ayudó mucho a orientarme para la realización de todos los análisis necesarios, así como también respondió pacientemente todas mis dudas.

Finalmente, agradecer al Proyecto FONDECYT 1190080 por el financiamiento de la tesis.

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- MARCO TEÓRICO.....	2
2.1.- Antecedentes de la papa.....	2
2.1.1.- Variedad Michuñe Roja	3
2.1.2.- Variedad Michuñe Negra.....	3
2.1.3.- Variedad Overa	3
2.1.4.- Variedad Red Lady.....	4
2.1.5.- Composición química de la papa	4
2.2.- Proceso de Fritura.....	8
2.3. Neocontaminantes.....	9
2.3.1. Acrilamida.....	10
2.3.2. Hidroximetilfurfural (HMF)	12
3. HIPÓTESIS	15
4. OBJETIVOS	15
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
5. MATERIALES Y MÉTODOS	16
5.1. MATERIALES.....	16
5.2. Obtención de las papas tipo hojuelas.....	18
5.2.1. Proceso de obtención de hojuelas fritas:.....	19
5.3. Análisis proximal.....	21
5.4. Determinación del contenido de Polifenoles Totales	21
5.5. Determinación de la capacidad antioxidante	22
5.6. Medición del contenido de Acrilamida	24
5.7. Medición del contenido de HMF	26
5.8. Determinación del contenido de aceite.....	27
6. RESULTADOS	28
6.1. Análisis Proximal	28

6.2. Contenido de Polifenoles totales	29
6.3. Capacidad Antioxidante.....	31
6.4. Contenido de Acrilamida	34
6.5. Contenido de HMF	35
6.6. Contenido de aceite.....	36
6.7. Recopilación de los resultados obtenidos en los análisis previos.	37
7. CONCLUSIONES.....	39
8. BIBLIOGRAFÍA	40
9. ANEXO.....	45

RESUMEN

Las hojuelas de papas fritas son una de las formas más populares de consumir papas, así como también uno de los snacks de mayor consumo en Chile. Sin embargo, se ha detectado presencia de neocontaminantes acrilamida (AA) e hidroximetilfurfural (HMF) en las hojuelas debido a la reacción de Maillard, cuya concentración puede estar relacionada con la variedad de papa y su composición. Las papas coloreadas que se cosechan en la isla de Chiloé se caracterizan por tener un mayor valor nutritivo y contenido fenólico, que podría reducir la cantidad de estos neocontaminantes en el producto final. Por ello, en este estudio se eligieron 3 variedades de papas de origen chilote (Michuñe Negra, Michuñe Roja, y Overa), junto a una variedad tradicional control (Red Lady), para determinar si la composición, el contenido fenólico, y la capacidad antioxidante de las papas chilotas influye en la disminución de neocontaminantes de las hojuelas de estas papas. El contenido de polifenoles obtenido en las papas crudas chilotas (1076,08; 1167,7; y 1175,08 $\mu\text{g EAG} \cdot \text{g}^{-1}$ respectivamente) fue mayor que el de la papa control (376,35 $\mu\text{g EAG} \cdot \text{g}^{-1}$). De la misma forma, se obtuvo una mejor capacidad antioxidante en las variedades de papas crudas chilotas (0,1104; 0,1506; y 0,1042 g IC_{50} respectivamente) que en la papa control (0,3745 g IC_{50}). Con respecto a la cantidad de aceite final de las hojuelas de papas fritas, las variedades chilotas tuvieron un menor contenido de aceite después de la fritura (35,312; 30,761; y 33,576 g/100 g respectivamente) con respecto a la variedad control (42,088 g/100 g). El contenido de AA obtenido en las hojuelas de papas fritas chilotas (620; 740; y 934 $\mu\text{g/kg}$ respectivamente) fue mucho menor que el observado en la papa frita control (1392 $\mu\text{g/kg}$). El contenido de HMF también fue significativamente menor en las hojuelas de papas fritas chilotas (159,32; 109,48; y 190,56 $\mu\text{g/kg}$ respectivamente) que en el control (827,58 $\mu\text{g/kg}$). Se concluye que la composición, el contenido de polifenoles totales, y la capacidad antioxidante presente en las papas chilotas tiene un efecto positivo sobre la disminución en la formación de AA y HMF en el producto final, por lo que el uso de estas papas nativas para la producción de hojuelas de papas fritas podría constituir una medida para obtener un producto más saludable.

ABSTRACT

EFFECT OF THE COMPOSITION AND ANTIOXIDANT CONTENT OF POTATOES FROM CHILOÉ ON THE NEO-FORMED CONTAMINANTS OF FRIED POTATO CHIPS

Potato chips are one of the most popular ways of consuming potatoes, as well as one of the most consumed snacks in Chile. However, the consumption of this kind of snacks has its inconveniences, mainly being the presence of neo-formed contaminants on the chips, specifically, acrylamide and hydroxymethylfurfural (HMF). Coloured potatoes that are harvested from the island of Chiloé are characterized for having a higher nutritive value and phenolic composition that could reduce the amount of these neo-formed contaminants in the final product. Thus, in this research, three varieties of potatoes from Chiloé (Michuñe Negra, Michuñe Roja, and Overa), along a traditional control variety (Red Lady) were selected and their composition, total polyphenolic content, antioxidant capacity, and acrylamide and HMF were analysed to evaluate if the composition, phenolic content, and antioxidant capacity of the potatoes from Chiloé have influence on the reduction of the neo-formed contaminants on the fried potato chips from this varieties. Polyphenolic content obtained in the Chiloe varieties (1076,08; 1167,7; and 1175,08 $\mu\text{g GAE} \cdot \text{g}^{-1}$ respectively) was higher than the one in the control variety (376,35 $\mu\text{g GAE} \cdot \text{g}^{-1}$). At the same time, the antioxidant capacity obtained from the Chiloe varieties (0,1104; 0,1506; and 0,1042 g IC_{50} respectively) was better than the capacity obtained from the control one (0,3745 g IC_{50}). Regarding the final oil quantity of the potato chips, the varieties from Chiloé had a lower oil content after the frying process (35,312; 30,761; and 33,576 g/100 g respectively), compared to the control variety (42,088 g/100 g). The acrylamide content obtained from the Chiloé varieties of potato chips (620; 740; and 934 $\mu\text{g/kg}$ respectively) was much lower than the one observed in the control variety (1392 $\mu\text{g/kg}$). HMF content was also significantly lower in the varieties from Chiloé (159,32; 109,48; and 190,56 $\mu\text{g/kg}$ respectively) than the control variety (827,58 $\mu\text{g/kg}$). Thus, the composition, polyphenolic content and

antioxidant capacity that is present in potato varieties from Chiloé have a positive effect on the reduction in the formation of acrylamide and HMF in the final product, so the use of this native potatoes for the elaboration of potato chips promotes a lesser health-risk snack.

1.- INTRODUCCIÓN

Las hojuelas de papas fritas representan uno de los snacks más consumidos alrededor del mundo, siendo una opción alimentaria muy conveniente disponible para la gente que lleva un estilo de vida ocupado, pudiendo ser servidas como un snack rápido o como parte de una comida preparada. Se espera que el consumo de hojuelas de papas fritas aumente en una tasa significativa en países en desarrollo. El mercado global de hojuelas de papas fritas llegó a un total de 32,2 billones de USD, y se espera que esta cifra llegue a 39 billones de USD para el 2027 (Imarcgroup, 2023). En Chile, el ingreso de hojuelas saborizadas correspondió a 790 millones de USD, con un crecimiento esperado de 5,59% hasta el 2027, siendo las hojuelas de papas fritas el segundo grupo de hojuelas saborizadas que generó más ingreso en el 2022 (Potato Chips, 2022).

Los genotipos cultivados en la isla de Chiloé muestran una amplia variabilidad en forma tubular, pulpa y piel, color, y sabor, así como también en almacenamiento y calidad de cocción. En varios estudios se ha indicado que las papas coloreadas proveen una fuente natural de fitoquímicos tales como carotenoides, compuestos fenólicos, flavonoides, y antocianinas, que ayudan a reducir el riesgo de contraer enfermedades crónicas, incluyendo cáncer, degeneración neuronal relacionada a envejecimiento, o enfermedades cardiovasculares (Ah-Hen et al., 2012).

El consumo de papas involucra una cierta forma de procesamiento térmico, que pueden ser el horneado, cocción o fritura, que son aplicados tanto de forma comercial como de forma doméstica. Tales procesos producen un pardeamiento no enzimático a través de la reacción de Maillard, la cual forma propiedades sensoriales deseables en el alimento, tales como color, sabor y aroma. Sin embargo, el procesamiento térmico también da paso al desarrollo de varios componentes potencialmente tóxicos o severamente dañinos, denominados neocontaminantes, entre los que se encuentran la acrilamida y el hidroximetilfurfural (HMF), que se consideran potencialmente carcinógenos (Quan et al., 2020).

El objetivo de este estudio es determinar si existe un efecto del contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante presente en las variedades de papas

chilotas “Michuñe Negra”, “Michuñe Roja”, y “Overa” sobre el nivel de neocontaminantes final de hojuelas fritas procesadas en base a estas tres variedades de papas, comparándolas con hojuelas fritas hechas en base a una papa de la variedad Red Lady (muestra control), la cual es una variedad tradicional de piel oscura y pulpa amarilla presente en Chile, que es altamente utilizada para la elaboración de papas fritas tradicionales (INIA, 2019).

2.- MARCO TEÓRICO

2.1.- Antecedentes de la papa

El valor dietario de la papa está relacionado a su contenido nutricional, el cual incluye proteínas de alta calidad, almidón, fibra, minerales y un contenido variable de fitoquímicos o fitonutrientes, tales como polifenoles, vitaminas y pigmentos, a los cuales se les atribuye la reducción del desarrollo de enfermedades crónicas. Estos componentes son más prevalentes en papas de piel y/o pulpa colorada que incluyen pigmentos rojos y púrpuras, debido a la presencia de antocianinas. Las papas de pulpa púrpura y roja representan una fuente natural de antocianinas, las cuales han sido asociadas a la promoción de la salud (Silveira et al., 2017), sin embargo, hay que tener en cuenta que ciertos factores, como el tratado por procesos térmicos, y el almacenamiento prolongado pueden afectar negativamente la estabilidad de estas antocianinas (Quan et al., 2020).

Si bien en este trabajo se utilizaron tres variedades de papas nativas chilotas, lo cierto es que existen cientos de especies de papas nativas chilotas, con características variadas, como su color, su forma, su tamaño, entre otras características (Contreras & Castro, 2008). En la **Fig 1** se pueden visualizar algunas variedades de papas chilotas, donde se pueden apreciar colores que varían entre amarillo, rojo, y púrpura, así como también diferentes formas que van desde esféricas a sumamente ovaladas.

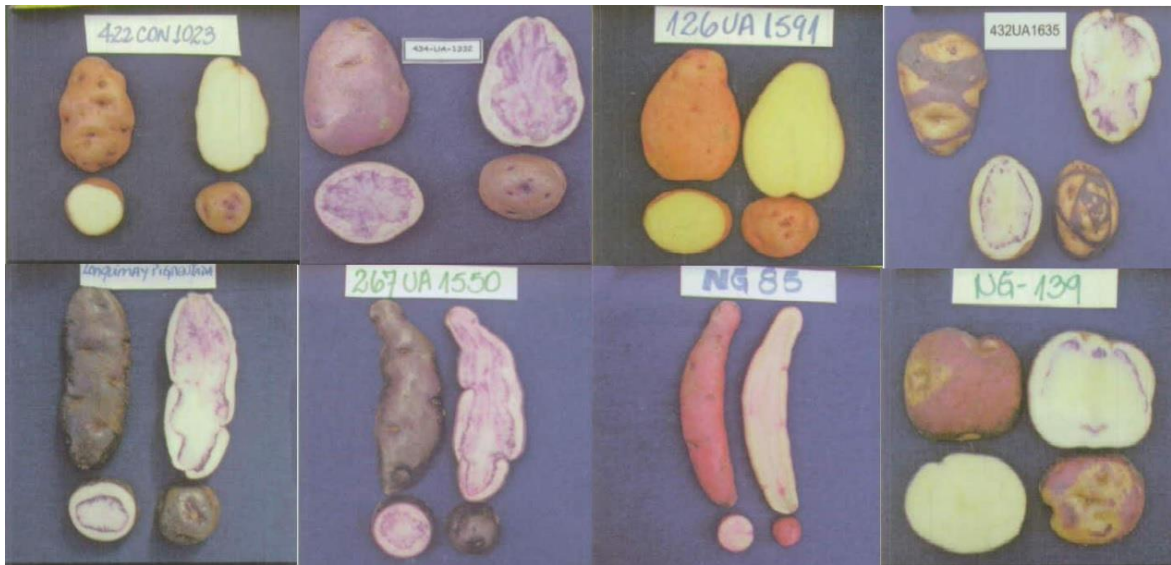


Fig 1. Imágenes de algunas variedades de papas nativas chilotas. Fotos obtenidas de (Contreras & Castro, 2008), y ordenadas para mejor visualización.

2.1.1.- Variedad Michuñe Roja

La variedad Michuñe Roja presenta una forma alargada elíptica, con aproximadamente 18 ojos de profundidad media. Presenta un color rojo en la piel, el color primario de la pulpa es crema y el color secundario es rosado oscuro (Calisto, 2012). Esta variedad es cultivada en las islas de Chiloé, y corresponde a una variedad conocida de comercio local, solamente disponibles en restaurantes de especialidad y ferias en su gran mayoría (De Haan & Rodríguez, 2016).

2.1.2.- Variedad Michuñe Negra

La variedad Michuñe Negra presenta una forma muy alargada, con una profundidad de ojos media, un color de piel morado, y un color de piel mayoritariamente morado (Contreras & Castro, 2008).

2.1.3.- Variedad Overa

La variedad Overa presenta una forma ovalada larga, con un color de piel morado y amarillo, y un color de pulpa amarillo con pigmentos azules. Esta especie de papa es de tamaño pequeño, y se caracteriza por tener un sabor dulce aceitoso y una textura levemente crocante (Contreras & Castro, 2008).

2.1.4.- Variedad Red Lady

La variedad Red Lady es una variedad de papa de fácil acceso en la Región Metropolitana, que se caracteriza por ser de cocción casi firme, de piel roja, medio temprana y robusta. Posee un buen y rápido rendimiento, y una excelente calidad de consumo. Sus tubérculos son uniformes y la caracterizan su rápida firmeza de la piel y tolerancia a la sequía. Además, tiene una alta resistencia a patógenos que pueden aparecer en los tubérculos de papa, como la sarna verrugosa patotipo 1, y el nematodo Ro1 (Solana, 2015).

2.1.5.- Composición química de la papa

Es posible dar a conocer la composición química aproximada del tubérculo, destacando que existen rangos, dentro de los cuales se mueven los valores composicionales de cada variedad. La composición química (que se puede apreciar en la **tabla 1**) es afectada por el tiempo de maduración del tubérculo, condiciones ambientales, climáticas, suelo, crecimiento, etc. Asimismo, también depende de caracteres genéticos, aunque tubérculos de la misma variedad, incluso de la misma planta, pueden variar en el contenido de algunos componentes (Calisto, 2012).

Tabla 1. Composición química de los principales constituyentes del tubérculo de papa.

Componente	Rango (g/100g)	Media (g/100g)
Agua	63,2 – 86,9	75,05
Sólidos totales	13,1 – 36,8	23,7
Proteína (Nitrógeno total*6.25)	0,7 – 4,6	2,0
Materia grasa	0,02 – 0,20	0,12
Azúcares reductores	0,0 – 5,0	0,3
Carbohidratos totales	13,3 – 30,53	21,9
Fibra cruda	0,17 – 3,48	0,71
Ácidos orgánicos	0,4 – 1,0	0,6
Ceniza	0,44 – 1,9	1,1
Glicoalcaloides (Solanina) (*)	0,2 - 41	3,0 - 10
Vitamina C (*)	1,0 - 54	10,0 - 25
Compuestos fenólicos (*)	5,0 - 30	----

(*) La unidad corresponde a mg por 100g. Tabla obtenida de (Calisto, 2012) y modificada para mejor visualización.

Las papas recién cosechadas contienen aproximadamente 80% de agua y 20% de materia seca. Cerca del 60-80% de la materia seca es almidón. El contenido de proteína de papa es similar al de los cereales y es muy alto en comparación con otras raíces y tubérculos.

La papa, además de contener una baja cantidad de grasa, contiene abundantes micronutrientes, sobre todo vitamina C. Una papa mediana, de 150 g, consumida con su piel, aporta casi la mitad de las necesidades diarias de un adulto (100 mg). También contiene una cantidad moderada de hierro, pero el gran contenido de vitamina C fomenta la absorción de este mineral. Además, este tubérculo contiene vitaminas B1, B3, y B6, y otros minerales como potasio, fósforo y magnesio, así como folato, ácido pantoténico y riboflavina. Por otro lado, contiene potencial antioxidante entre sus compuestos fenólicos, los cuales pueden contribuir a prevenir

enfermedades relacionadas con el envejecimiento, y fibra, cuyo consumo es bueno para la salud (Arcos, 2015).

Los compuestos fenólicos en las papas varían dependiendo de su genotipo, coloración, entre otros factores, donde mayoritariamente se encuentran compuestos tales como ácido clorogénico, rutina, y ácido criptoclorogénico (en forma libre), y ácido caftárico y benzoico (en forma enlazada). Las papas coloreadas poseen una cantidad de componentes fenólicos totales y contenido de flavonoides totales mayor que las papas de coloración amarilla, los cuales tienen una correlación positiva con la actividad antioxidante de las fracciones libres y totales (Haicui et al., 2022).

Los componentes que tienen mayor influencia en la formación de acrilamida en las papas fritas son los azúcares reductores, siendo estos los mayores contribuyentes en la potencial formación de acrilamida, y la asparagina libre, cuyo potencial de formación de acrilamida aumenta con la presencia de azúcares reductores (Muttucumaru et al., 2017). La cantidad de azúcares reductores puede variar de gran manera por factores como su especie, su sitio de cultivo, y su tiempo de almacenamiento. Todos estos factores que afectan la composición del producto crudo hacen que haya una mayor dificultad en estimar el contenido de acrilamida en los productos (Muttucumaru et al., 2017).

No se encontraron estudios concretos de composición de cáscaras de papas chilotas, por lo que se muestra en la tabla 2 la composición proximal de la cáscara de algunas variedades de papas obtenida del estudio realizado por (Sampaio et al., 2020).

Tabla 2: Composición química de las cáscaras de algunas variedades de papas. Valores expresados en g/100 g en peso seco.

Cáscaras de papas	Humedad	Carbohidratos	Proteínas	Grasas	Cenizas
Russet orgánica de USA	3,67	76	11,98	1,12	7,32
Russet no orgánica de USA	3,78	71	17,19	1,1	7,34
Papa Roja de USA	4,46	72	15,99	0,81	6,69
Papa Dorada de USA	5,66	70	14,17	1,17	9,12
Lady Rosetta de Irlanda	6,98 ± 0,05	72,53 ± 0,08	11,17 ± 0,03	2,09 ± 0,01	7,24 ± 0,02
Lady Claire de Irlanda	4,08 ± 0,04	77,38 ± 0,65	12,44 ± 0,09	1,27 ± 0,38	4,83 ± 0,13
Variedad Spunta de Tunisia	7,3 ± 0,3	88,0 ± 4,4	2,099 ± 0,105	0,733 ± 0,037	0.906 ± 0.006
Variedad Agria de España	7.30 ± 0.23	86,97 ± 0,43	6.47 ± 0.23	0	5,46 ± 0,17
Desconocida de Grecia	-	68,7	8	2,6	6,34

*(Sampaio et al., 2020) Tabla modificada para mejor visualización.

El macronutriente más abundante en las cáscaras de papas son los carbohidratos, que dan cuenta entre 69-88 g/100 g de peso seco. Las cáscaras de papas también son una fuente rica en fibra dietaria, cuya ingesta puede presentar beneficios a la salud humana, tales como un efecto reductor de colesterol y un control diabético mejorado (fibra soluble), además de una regulación de la salud intestinal (fibra dietaria insoluble) (Sampaio et al., 2020).

La proteína corresponde al segundo macronutriente más abundante en las cáscaras de papas, que se encuentra en un rango de 2 a 17 g/100 g de peso seco. Se ha estudiado la composición proteica de las cáscaras de papas, donde se reporta un total de concentración de proteína cruda de 9.52-10.58 g/100 g de peso seco, un

contenido de aminoácidos esenciales de 428-666 mg/100 g de peso seco, un nivel de aminoácidos libres de 1383-2077 mg/100 g en peso seco, y un rango de asparagina de 90.4-115.8 mg/100 g en peso seco.

El contenido de grasas en las cáscaras de papas es muy bajo, con algunos estudios que reportan la ausencia total de ésta, y otros reportan valores de 2.6 g/100 g de peso seco.

Las cáscaras de papas corresponden a una gran fuente de componentes nutricionales, particularmente de fibra dietaria, haciendo que sean un candidato aceptable para su incorporación en las dietas humanas para mejorar el valor nutricional de otros alimentos y promover la economía circular. Sin embargo, siempre van a existir variaciones en estos valores de composición nutricional de las cáscaras de papas, que pueden atribuirse a diferencias de variedades, diferencias ambientales, entre otras (Sampaio et al., 2020).

2.2.- Proceso de Fritura

La fritura es una técnica de procesamiento de alimentos antigua y muy popular, la cual en simples términos es un proceso de deshidratación a muy altas temperaturas (por ejemplo, 180°C) que ocurre cuando un alimento es inmerso en un baño de aceite. Hoy en día, varios alimentos procesados alrededor del mundo son preparados mediante fritura, ya que esta operación no solo cocina los alimentos rápidamente, sino también añade atributos sensoriales únicos y atractivos para el consumidor, tales como colores, aromas, sabores y texturas que mejoran la palatabilidad general (Pedreschi et al., 2018).

Entre las técnicas de fritura se pueden nombrar dos notorias, que son la fritura en superficie, y la fritura en profundidad. En la fritura en superficie, el espesor de la capa de aceite varía como resultado de las irregularidades de la superficie de los alimentos, lo cual, junto a la acción de las burbujas de vapor que levantan al alimento de la superficie caliente, causa variaciones de temperatura a medida que sigue el proceso de fritura, y se produce el pardeamiento irregular característico de los alimentos fritos en superficie, por lo que este proceso es mas adecuado para

alimentos de mayor área superficial (vegetales rebanados y productos cárnicos). Por el contrario, en la fritura en profundidad (que es el tratamiento que se utilizará en este trabajo), los alimentos a freír son sumergidos en una fuente profunda llena de aceite, a temperatura constante y controlada (que pueden ir desde 160 a 195°C), por lo que todas las superficies del alimento reciben el mismo tratamiento térmico para producir un color y apariencia uniforme (Fellows, 2022).

La absorción de aceite es hoy en día uno de los parámetros de calidad más importante en productos fritos, debido a las demandas de los consumidores por alimentos más sanos y con menor contenido de aceite. La absorción de aceite ha sido estudiada utilizando diferentes técnicas ya que es un fenómeno multifactorial muy complejo. Algunos investigadores han utilizado aceite teñido o lavados consecutivos con solventes para demostrar que la absorción de aceite ocurre principalmente durante el periodo de enfriamiento después de la fritura (Pedreschi et al., 2018).

Durante el proceso de fritura, ocurren procesos de transferencia de calor y masa, cambios estructurales, y gradientes de temperatura entre la corteza y el centro del producto. Estos fenómenos son los que causan cambios de calidad como la absorción de aceite en alimentos fritos. Hay estudios que indican que, a altas temperaturas y tiempos de fritura, hay una menor absorción de aceite, mientras que otros estudios dicen lo contrario a lo anterior, lo cual puede deberse al tipo de pretratamiento que reciben los productos, así como también las diferencias estructurales que haya en estos (Liberty et al., 2019).

2.3. Neocontaminantes

Los procesos térmicos tienen un fuerte impacto en las características nutricionales, sensoriales y funcionales del alimento final. Los desarrollos más actuales en procesamiento de alimentos han sido concentrados en la reducción substancial de daños a nutrientes y componentes sensoriales aplicando las condiciones de calor óptimas. A pesar de eso, la formación de componentes que no se encuentran presentes naturalmente en alimentos y que revelan efectos dañinos tales como efectos citotóxicos, carcinógenos y mutagénicos son la mayor preocupación que

surge de los procesos de calentamiento, y todos estos efectos adversos que pueden estar presente en los alimentos tratados térmicamente son conocidos como neocontaminantes (Žilić, 2016).

Los neocontaminantes se pueden desarrollar durante el proceso de horneado, fritura y tostado debido a varias reacciones químicas tales como la reacción de Maillard, la caramelización, y la oxidación lipídica. La acrilamida es uno de los neocontaminantes que ha adquirido mucha atención debido a su alto potencial toxicológico y amplia ocurrencia en alimentos (Žilić, 2016). Por otro lado, el HMF, que también es formado por reacciones de caramelización o por descomposición de la glucosa y fructosa, no se ha determinado en sí como un potencial peligro para la salud, sin embargo, la mayor preocupación sobre éste es que puede ser metabolizado en 5-sulfoxi-metil-furfural (SMF), y se ha comprobado que el SMF de tener mutagenicidad y genotoxicidad in vitro e in vivo (Y. Ma et al., 2022). También hay que mencionar la existencia del furano, el cual es otro neocontaminante formado por la degradación térmica de carbohidratos y oxidación de ácidos grasos poliinsaturados, que es reconocido como un carcinógeno humano del grupo 2B (Cao et al., 2022).

2.3.1. Acrilamida

La acrilamida se encuentra presente en varios alimentos ricos en carbohidratos cuando son procesados a altas temperaturas (>120°C), como la fritura, el horneado y el tostado. Se ha probado que este componente es carcinogénico en roedores y también posiblemente en humanos, con un aumento de evidencia en asociaciones positivas con cánceres humanos, siendo clasificado como grupo 2ª según el Centro de Investigaciones sobre el cáncer (Lee Kuek et al., 2020). En el caso de las papas fritas en hojuela, se ha encontrado que la concentración promedio de acrilamida varía entre 399 a 1202 µg/kg, lo cual es una mayor concentración que otros alimentos similares como las “French fries” (159 a 963 µg/kg), las galletas (169 a 518 µg/kg), pan crujiente y crackers (87 a 459 µg/kg) y café instantáneo (3 a 68 µg/kg) (De Meulenaer et al., 2016).

2.3.1.1. *Mecanismo de formación de Acrilamida*

Esta reacción no enzimática de pardeamiento tiene influencia en varios aspectos de la calidad de un alimento, tales como la formación de sabor, color y aroma. Estudios de espectrometría de masas usando N-asparagina y C-glucosa confirmaron que los tres átomos de carbono y el nitrógeno del grupo amida son derivados de la asparagina. Aunque la asparagina por si sola puede liberar acrilamida por descarboxilación térmicamente iniciada y desaminación, en la presencia de azúcares reductores la formación de acrilamida desde la asparagina aumenta significativamente. Por ende, el mayor mecanismo de formación de acrilamida involucra la reacción de un componente de carbonilo (preferentemente un α -hidroxicarbonil) con asparagina, resultando en la conjugación N-glicosil y la formación de una base de Schiff descarboxilada (después de la deshidratación a altas temperaturas) correspondientes. Esta reacción involucra una cascada de reacciones con varios intermediarios altamente reactivos resultando en la formación de la acrilamida en los alimentos. En la **Fig 2** se proponen los siguientes intermediarios: (a) la descarboxilación de la base de Schiff, lo cual puede llevar a la descomposición directamente a acrilamida y una imina o ser seguido por una hidrólisis de 4-aminopropamida (3-APA) y componentes carbonílicos; en este aspecto, debe notarse que ese 3-APA puede aparecer también en algunas papas; (b) eliminación subsecuente de amoniaco desde 3-APA puede liberar acrilamida; (c) alternativamente, la hidrólisis de la imina que amuebla el aldehído de Strecker de asparagina (3-oxopropanamida) puede también liberar acrilamida, aunque de forma limitada. En base a este mecanismo de reacción generalmente aceptado, se han creado modelos matemáticos que, basados en la información composicional de la papa, puede predecir precisamente la concentración de acrilamida en papas fritas luego de freír por un tiempo particular a una temperatura particular (De Meulenaer et al., 2016).

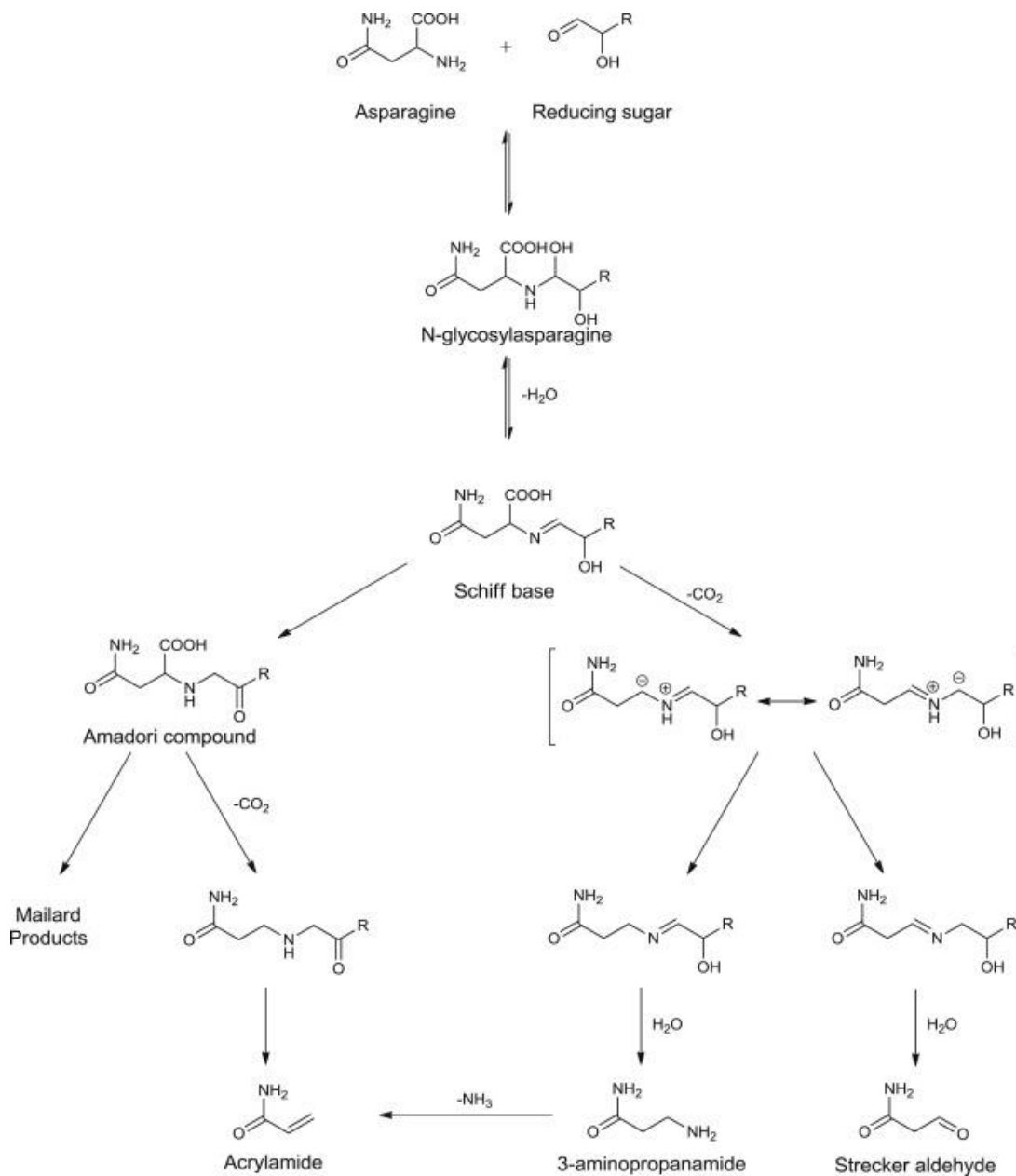


Fig. 2. Mecanismo propuesto para la formación de acrilamida como una reacción secundaria de la Reacción de Maillard.

2.3.2. Hidroximetilfurfural (HMF)

Corresponde a uno de los numerosos componentes resultantes del calentamiento de alimentos. Es formado a través de la deshidratación catalizada por ácido y a través de la Reacción de Maillard por los azúcares reductores. En la Reacción de Maillard, el HMF corresponde a un intermediario que aparece cuando las mitades

de hexosas reductoras son calentadas en presencia de aminoácidos o proteínas. Este neocontaminante tiene un número de alertas estructurales (anillo de furano, grupo carbonilo α,β -insaturado, y grupo hidroxilo alílico) que apuntan a un posible riesgo de actividad genotóxica y carcinógena (Glatt & Sommer, 2006).

2.3.2.1. Mecanismo de formación del HMF

El HMF (5-Hidroximetilfurfural) es un furano que se forma como un intermedio en la reacción de Maillard y directamente de la deshidratación de azúcares en condiciones ácidas (caramelización) durante los tratamientos térmicos aplicados a los alimentos. La 3-Deoxiosona es conocida como intermedio clave en la formación de HMF, la misma que proviene de la enolización 1,2 y la deshidratación de glucosa o fructosa. La posterior deshidratación y ciclación de la 3-desoxiosona produce 5 hidroximetilfurfural. En condiciones ácidas, HMF puede formarse incluso a bajas temperaturas, aunque sus concentraciones aumentan drásticamente a medida que incrementa la temperatura de los tratamientos térmicos o de almacenamiento. En condiciones secas y pirolíticas, una alternativa para la formación de HMF a partir de fructosa y sacarosa implica la formación de un fructofuranosilo, catión altamente reactivo que se puede convertir directamente a HMF como se puede apreciar en la **Fig 3**. Además de la temperatura, la formación de HMF en los alimentos depende del tipo de azúcar, el pH, la actividad del agua y la concentración de cationes divalentes de los medios. La cantidad de HMF detectable en los alimentos está directamente relacionada con la carga de calor aplicada durante el procesamiento de productos ricos en carbohidratos. Otra fuente de HMF está representada por ingredientes utilizados en la formulación, como soluciones de caramelo o miel (Capuano & Fogliano, 2011).

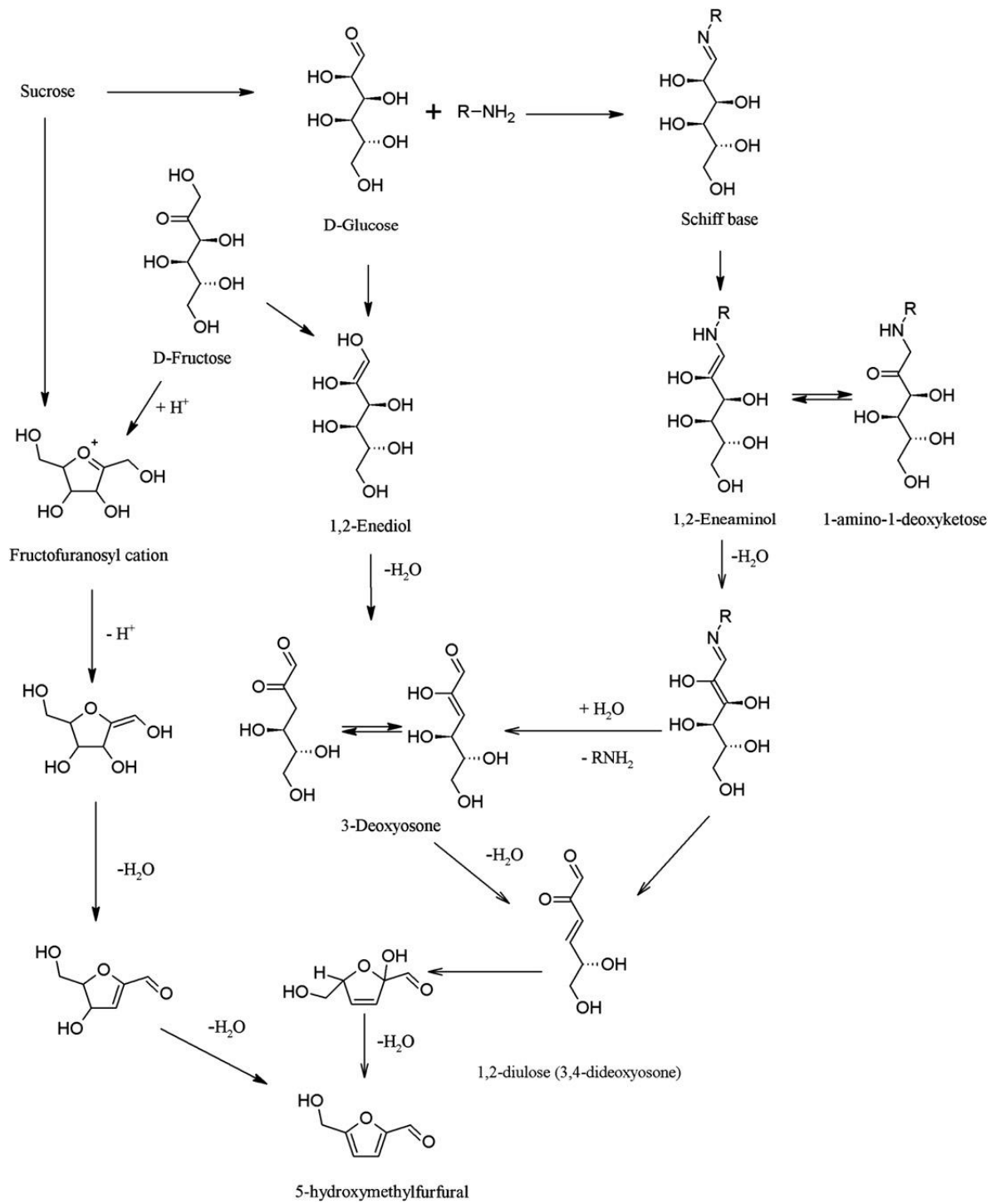


Fig 3. Mecanismo de formación de HMF.

3. HIPÓTESIS

La composición, el contenido de polifenoles, y la capacidad antioxidante que contienen distintas variedades de papas chilotas presentan efectos sobre los niveles de neocontaminantes que se formarán en hojuelas de papa durante la fritura.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar si existe un efecto de la composición y capacidad antioxidante en papas chilotas “Michuñe Negra”, Michuñe Roja”, y “Overa”, sobre el nivel de AA y HMF de hojuelas de papas fritas, en comparación a una papa control de variedad “Red Lady”.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el contenido de polifenoles totales y de capacidad antioxidante de las variedades de papas chilotas crudas y de la papa control cruda Red Lady.
- Determinar la composición del producto final para las tres variedades de papas chilotas y la papa control Red Lady.
- Determinar el contenido de neocontaminantes (AA y HMF) del producto final para las tres variedades de papas chilotas y la papa control Red Lady.
- Evaluar el efecto de la capacidad antioxidante y de la composición presentes en las papas chilotas y en la papa control sobre el contenido de AA y HMF del producto final.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. MATERIALES

Las papas chilotas que se utilizarán en el estudio corresponden a las de la especie “Michuñe Negra”, “Michuñe Roja”, y “Overa” obtenidas a través de un distribuidor de venta online de papas chilotas en la ciudad de Santiago, llamado Con Sabor Chilote, cuya ubicación y condiciones de cultivo de las papas se presumen constantes según especificaciones del proveedor, para evitar mayor variabilidad en la composición de estas. La muestra control corresponde a una papa de la variedad “Red Lady”, obtenida en un comercio local de la ciudad de Melipilla, de igual forma, con ubicación y condiciones de cultivo uniformes. Las papas se obtuvieron en época de invierno, en tres lotes separados, y se almacenaron a temperatura ambiente, manteniéndolas en oscuridad hasta su uso. Al momento de escoger las papas, siempre se dio preferencia a las unidades de mayor tamaño, y que tuvieran una cantidad mínima de brotes, o preferentemente, que no presentaran brotes en absoluto. Las muestras crudas de papas utilizadas en el estudio se pueden observar en la **Fig 4**.

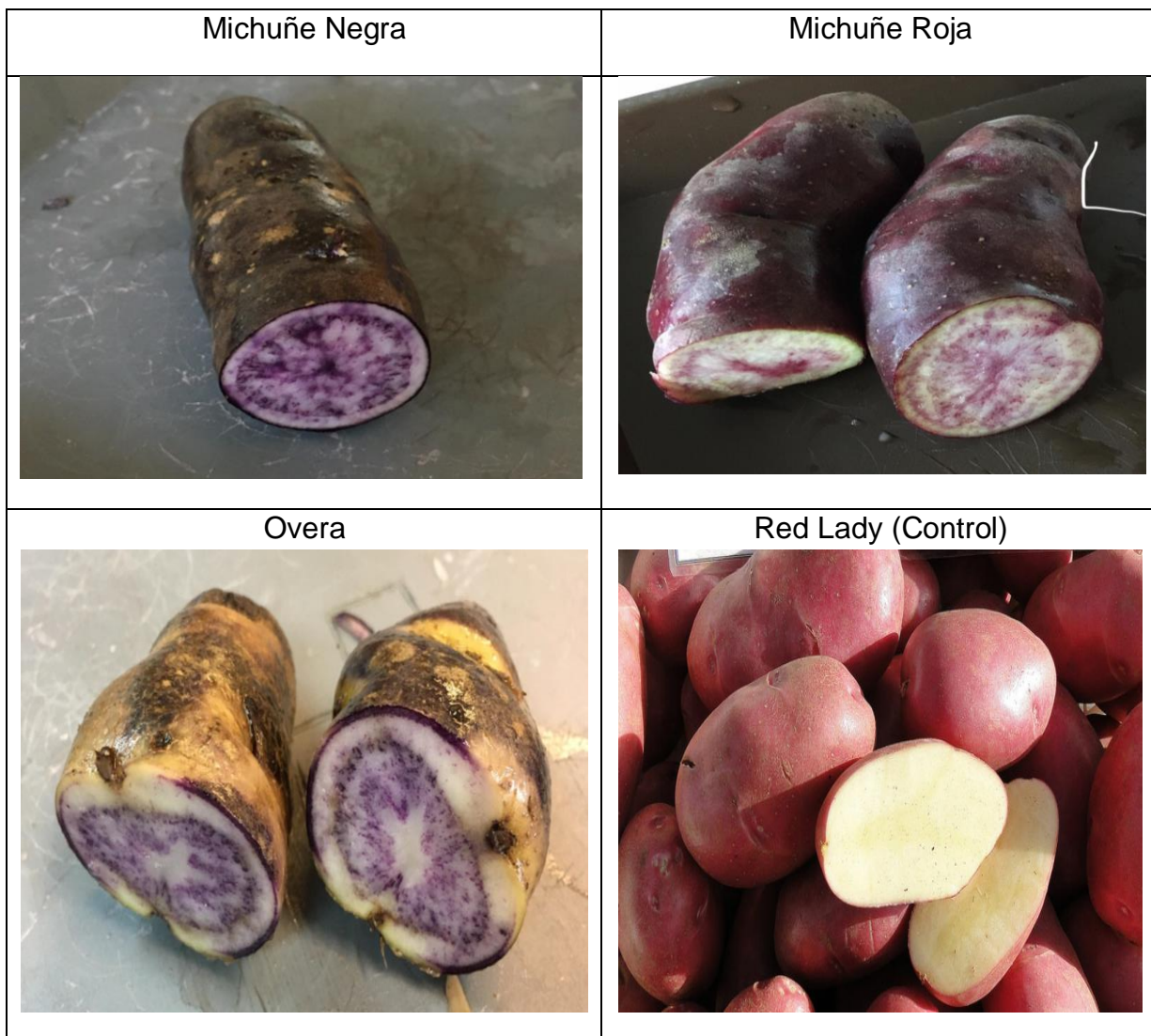


Fig.4. Variedades de papas utilizadas en este estudio

Para freir las papas, se utilizó un aceite comercial de maravilla marca “Chef”, y para pelar las papas para extraer la cáscara, se utilizó un pelador individual metálico. Para laminar las papas, se utilizó una Cortadora de Fiambre S220 marca Comercial Maquinet (Italia). Para la obtención de las hojuelas de papas fritas, se utilizó una freidora eléctrica de doble depósito con un controlador de temperatura marca "Novus", y para medir la humedad de las hojuelas de papas fritas resultantes, se utilizó una termobalanza AND MS-70. Estos equipos previamente mencionados pueden observarse en el Anexo 1.

5.2. Obtención de las papas tipo hojuelas

A continuación, se muestra el proceso completo de la obtención de las hojuelas de papas fritas, desde la recepción de la materia prima cruda, en este caso, las variedades de papas crudas, hasta el almacenamiento del producto final y realización de análisis pertinentes.

5.2.1. Proceso de obtención de hojuelas fritas: En la **Fig 5** se muestra el diagrama de bloques del proceso que se realizó para obtener las hojuelas de papas fritas.

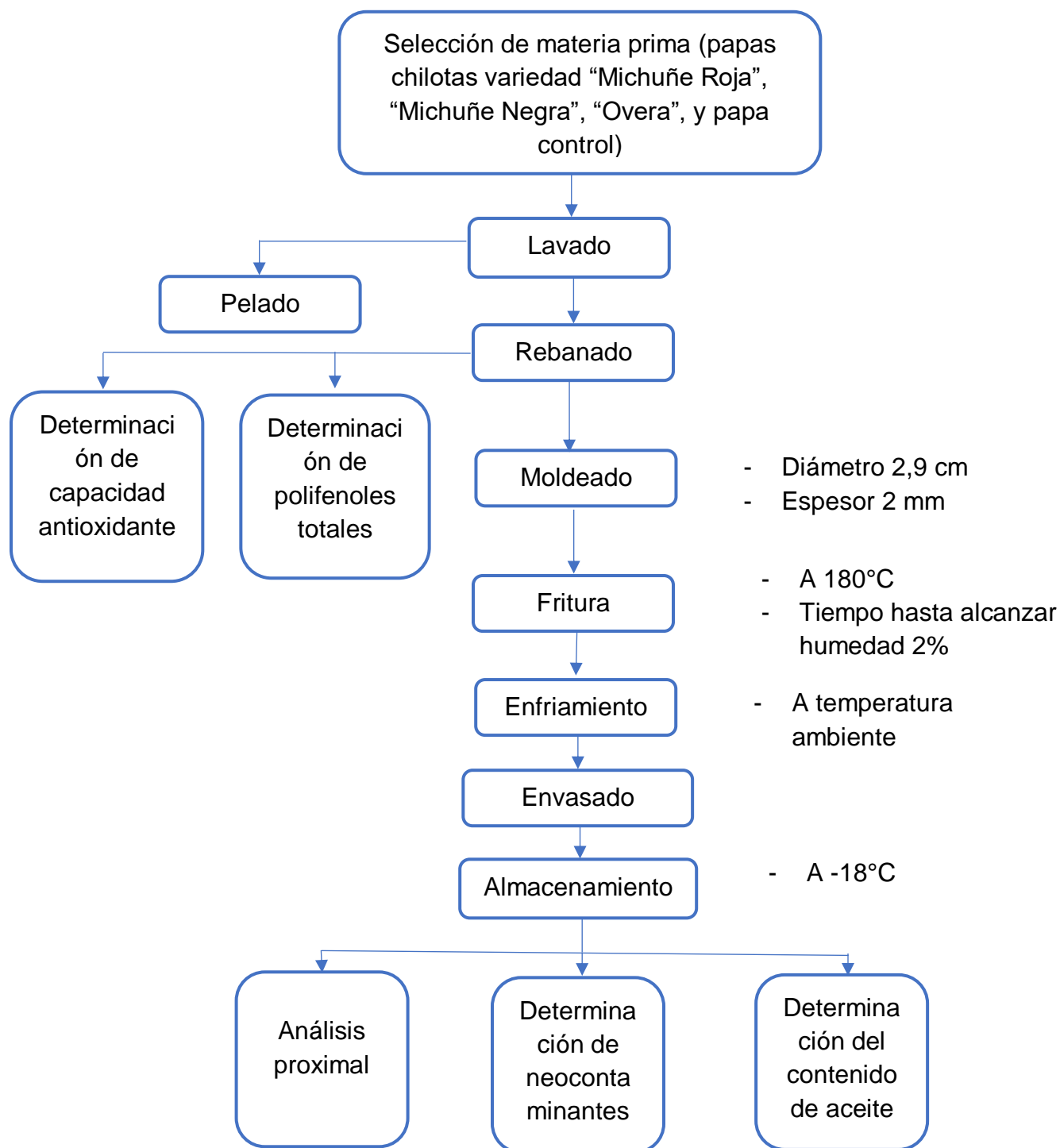


Fig 5. Diagrama de bloques del proceso de obtención y almacenado de hojuelas de papas fritas chilotas.

5.2.1.1. Descripción del diagrama de bloques

Selección de materia prima (papas chilotas variedad “Michuñe Roja, “Michuñe Negra”, “Overa” y papa control “Red Lady”): Se seleccionaron las papas que se utilizaron en este estudio, escogiendo las que permitieran obtener láminas de diámetro 2,9 cm, y con nula o baja presencia de brotes.

Lavado: Las papas seleccionadas fueron lavadas con abundante agua, con el fin de eliminar cualquier impureza que pueda estar presente en la superficie de éstas.

Pelado: En este paso, se separaron las papas en dos lotes, a uno de los lotes se le aplicó un proceso de pelado, removiendo toda la cáscara utilizando un pelador de papas (el otro lote quedó intacto).

Rebanado: Se procedió a rebanar cada papa utilizando una rebanadora de fiambres, para poder obtener las papas en forma de hojuelas, dándole un grosor de 2 mm a cada lámina. Se tomó una muestra de al menos 40 g de ambos lotes ya rebanados para realizar el análisis de determinación de polifenoles totales y capacidad antioxidante de cada variedad de papa.

Moldeado: Con el fin de obtener papas fritas lo más homogéneas posible, se utilizó un molde metálico de forma circular para darles forma a las hojuelas de papas previo al proceso de fritura, dejándolas con un diámetro de 2,9 cm cada una.

Fritura: Las hojuelas ya moldeadas se pasaron en lotes de 12 láminas a la freidora, la cual se llenó previamente con 4 litros de aceite de maravilla comercial marca Chef, el cual se fue reemplazando a la mínima aparición de elementos de oxidación de éste (cambios en la coloración y aroma), y se manejó a una temperatura controlada de 180°C +/- 3°C., proceso que duró hasta alcanzar una humedad final del 2% (medida en termobalanza).

Enfriamiento: Habiendo terminado el proceso de fritura, las hojuelas resultantes se dejaron reposando a temperatura ambiente para que se enfríen.

Envasado: Una vez enfriadas, las hojuelas fueron envasadas en bolsas plásticas resellables.

Almacenamiento: Finalmente, las hojuelas resultantes ya envasadas fueron almacenadas herméticamente a -18°C hasta realizar sus posteriores análisis.

5.3. Análisis proximal: El Análisis proximal se mandó a realizar al laboratorio de análisis químicos y biológicos Analab en donde se determinó, con una repetición, el contenido de proteína total, humedad, ceniza, materia grasa, fibra cruda, y calorías. Los métodos utilizados por el laboratorio fueron los siguientes:

- ❖ Determinación de humedad: Basado en Official Methods OF Analysis, 21th edition 2019, AOAC 925.10, NCh 841, 2018.
- ❖ Determinación de cenizas: Basado en AOAC Official Methods OF Analysis, 21TH EDITION 2019, 938.08, 940.26, 945.46, 925.51, 930.30, 920.153.
- ❖ Determinación de calorías: Basado en Analysis For Nutrition Labelling, Pag. 106.
- ❖ Determinación de extracto no nitrogenado: Basado en AOAC 19th edition 2012, 986.25.
- ❖ Determinación de nitrógeno total: Basado en NCh 2748. Of. 2002.
- ❖ Determinación de Fibra Cruda: Q-012/FCR Ref: AOAC Official Methods of Analysis 962.09

Todos los demás análisis y metodologías fueron realizadas en el laboratorio de Ingeniería Química y Bioprocesos de la sede de San Joaquín de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

5.4. Determinación del contenido de Polifenoles Totales: El método que se utilizó para la medición de polifenoles totales de las papas chilotas crudas (en duplicado) fue el de Folin-Ciocalteu, el cual se basa en la capacidad de los fenoles para reaccionar con agentes oxidantes (Aviles et al., 2010).

Se pesaron 2 gramos de cada muestra (en duplicado) cruda molida en balanza analítica, se pusieron en un tubo de centrífuga y se añadieron 10 mL de agua destilada a cada tubo. Luego, se tapó cada tubo y se centrifugaron a 30°C y 6000 rpm, por 10 minutos) Del sobrenadante resultante para cada muestra, utilizando micropipeta, se tomó una alícuota de 0,1 mL y se pusieron en tubos plásticos de 15 mL, donde luego se añadieron 1,7 mL de carbonato de potasio al 20%, y 3 minutos

después, 0,5 mL del reactivo de folín. Finalmente, se aforó cada tubo con agua destilada hasta llegar a los 10 mL y se dejaron reposar las muestras en oscuridad por 30 minutos.

Paralelamente, se pesaron en balanza analítica 50 mg de ácido gálico en un matraz aforado de 50 mL, se añadió 1 mL de metanol, y se aforó con agua destilada hasta los 50 mL. Con el fin de realizar una curva de calibración, se prepararon 9 soluciones patrón (50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 y 500 uL), tomando una alícuota de la solución de ácido gálico correspondiente a cada cantidad utilizando micropipeta, se colocaron en matraces de aforo de 10 mL, y se aforaron a esta misma cantidad.

Finalmente, utilizando el espectrofotómetro de masa, se obtuvo la cantidad de polifenoles totales de cada muestra, expresadas en equivalentes de ácido gálico, utilizando como blanco agua destilada, y obteniendo la curva de calibración con las soluciones patrón preparadas previamente, utilizando la siguiente fórmula:

$$P = \frac{A}{m} \quad (1)$$

Donde:

- P = µg EAG/ml (µg equivalentes de ácido gálico por mL de muestra)
- A = absorbancia leída a 765 nm.
- m = pendiente de la curva de calibración.

Los resultados finales de contenido de polifenoles se expresaron en µg EAG/g de muestra, por lo que se hizo una conversión en base a la cantidad inicial de muestra utilizada.

5.5. Determinación de la capacidad antioxidante: Para determinar el contenido de antioxidantes de las papas chilotas crudas se utilizó el método DPPH descrito por Aviles et al., (2010) con leves modificaciones. Para la preparación de la solución metanólica, se pesaron 10 mg de DPPH en un matraz volumétrico de 500 ml, aforando con metanol. Esta solución debe ser fresca, pudiendo utilizar sólo si su absorbancia es mayor a 0,5. Para la preparación de la muestra, se tomaron 10 g de

muestra de papa previamente molida (en triplicado), se pusieron en un tubo de centrífuga de 50 mL, se añadieron 30 mL de metanol, y se centrifugaron por 10 min a 10C° y 6000 rpm. Del sobrenadante obtenido, se tomaron alícuotas de 8,7,6 y 4 mL y se colocaron en matraces aforados de 10 mL, aforando posteriormente a este mismo volumen. Luego, se prepararon cinco sets de tres tubos plásticos de 15 mL (para realizar la medición en triplicado), donde se tomaron alícuotas de 0,1 mL (utilizando micropipeta) desde cada matraz y se pusieron en estos tubos. El quinto set de tubos se preparó con alícuotas de 0,1 mL tomadas directamente del sobrenadante sacado de la centrífuga. Para terminar la preparación de muestras, se añadieron 3,9 mL de la solución metanólica en cada tubo, se agitaron, y se dejaron reposar por 30 minutos en oscuridad. Luego de pasados los 30 minutos, se midió la absorbancia de cada muestra utilizando un espectrofotómetro de masas.

El porcentaje de decoloración (capacidad atrapadora de radicales libres) para cada concentración de muestra, se determinó empleando la siguiente formula:

$$\%decoloracion = \left(1 - \frac{Ac}{Ab}\right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

Ac = absorbancia de las muestras (promedio del triplicado) a 517 nm

Ab= absorbancia del control a 517 nm

Con el porcentaje de decoloración obtenida para cada concentración de muestra se realizó una regresión lineal, donde la variable independiente es la concentración de muestra y la dependiente el % de decoloración de DPPH, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$\%decoloracion = mC + n \quad (3)$$

Donde el % de decoloración a la concentración C de muestra, y m y n son los coeficientes determinados en la regresión lineal.

Con la ecuación anterior, se determinó el factor EC_{50} , cantidad de antioxidante necesario para disminuir en un 50% la cantidad inicial del radical DPPH; reemplazando el % de decoloración por 50%:

$$IC_{50} = \frac{50 - n}{m} \quad (4)$$

5.6. **Medición del contenido de Acrilamida:** El contenido de acrilamida de las hojuelas de papas fritas chilotas fue medido según el método descrito por Yingjie et al., (2022). Para la extracción de la acrilamida, se tomaron 2 g de muestra (en triplicado) en un tubo de centrifuga de 50 mL y se adicionaron 40 μ L de la solución de trabajo SI (20mg/L AA-D3) y 10 mL de metanol. Las muestras se agitaron por 30 segundos en vortex y se dejaron en ultrasonido a 60°C por 20 minutos. Se centrifugaron las muestras a -4°C y 6000 rpm por 10 min. Se extrajeron 5 mL de sobrenadante y se hicieron pasar por un cartridge de fase reversa C18 con la ayuda de un manifold con vacío para recuperar el extracto. Posteriormente se pasaron 5 mL de metanol y se juntaron al volumen de extracto obtenido anteriormente en un tubo de centrifuga de 50 mL y se adicionaron 10 mL de n-Hexano, para ser sonicado por 5 min y posteriormente centrifugado a -10°C y 6000 rpm por 10 min. Luego se tomó solo la fase inferior (Metanol) y se llevó a un balón esmerilado de 100 mL. Se evaporó a 40°C el solvente hasta sequedad. Se adicionó 1 mL de metanol y se extrajo la mayor cantidad del reconstituido. Se filtró el reconstituido a través de una jeringa de 3 mL y un filtro de 0,2 μ m para disponer en viales de 2 mL. Finalmente, las muestras fueron analizadas por método GC/MS – ionización química (CH4) en modo SIM negativo, cuyas condiciones de uso se pueden observar en la Tabla 3.

Tabla 3: Condiciones del equipo GC/MS para la medición de acrilamida

Parámetro (CTC Combipal)	Condición
Velocidad de llenado	5 μ L/sec
Strokes de llenado	3
Velocidad de inyección	50 μ L/sec
Volumen de inyección	2 μ L
Delay pre inyección	500 ms
Delay post inyección	500 ms
Modo de entrada	Pulsado splitless

Parámetro (GC)	Condición
Comienzo	60°C por 1 min. 10°C/min hasta 190°C por 0 min. Luego, 50°C/min hasta 240°C por 0 min
Tiempo de ejecución	15 min
Flujo de columna GC	0.8 mL/min
Temperatura de entrada GC	200°C
Tiempo de retención de Acrilamida y Acrilamida-d3	13 min

Parámetro (MS)	Condición
Temperatura de fuente de MS	150°C
Temperatura de cuadrupolo de MS	150°C
Línea de transferencia	250°C
m/z	70, 73
Tiempo de permanencia	50 mseg

5.7. **Medición del contenido de HMF:** El contenido de HMF de las hojuelas de papas fritas chilotas fue determinado por Cromatografía Líquida de Alta Eficacia acoplada a detector de arreglo de diodos mediante el método descrito por (Toker et al., 2013). Se pesó 1 g de cada muestra (en triplicado) de hojuela de papa frita molida y se colocaron en un tubo de centrifuga de 50 mL, añadiendo 20 mL de agua destilada en cada tubo y agitando. Se añadieron en cada tubo 1,5 mL de solución Carrez I (15g de $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 3H_2O$ en 100 ml de agua) y se agitaron los tubos. Luego, se añadieron 1,5 mL de solución Carrez II ((30g de $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ en 100 ml de agua) y se agitaron los tubos. Habiendo añadido estas soluciones, se pasaron los tubos por la centrifuga a 6000 rpm por 15 min. El sobrenadante resultante de cada muestra se pasó por un filtro de 0,22 μm (nylon). Este sobrenadante filtrado finalmente se depositó en viales de 2 mL para su posterior análisis en HPLC DAD, cuyas condiciones de uso se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4: Condiciones del equipo HPLC DAD para la medición de HMF

Parámetro	Condición
Fase móvil	Ácido acético al 1%/acetonitrilo (proporción 95/5%)
Flujo de fase móvil	1 mL/min
Longitud de onda del detector	284 nm
Volumen de inyección	20 μL
Columna	Acclaim TM 120 C18 5 μm 120 Å 4.6x150 mm.

5.8. **Determinación del contenido de aceite:** Para la determinación del contenido de aceite (CA) se utilizó el método descrito por Mousa et al., (2018), donde se pesaron, encima de un trozo de papel filtro, 5 g de muestra molida de cada variedad de hojuela de papas fritas (en triplicado), se selló cada papel filtro con corchetes, y finalmente se trataron utilizando extracciones soxhlet continuas en hexano.

Una vez terminada la extracción, se retiraron los restos de hexano utilizando un rotavapor a 55°C por aproximadamente 7 minutos, y posteriormente dejando el aceite resultante en un horno a 105°C por 1 hora. Se retiraron del horno los balones con aceite de las 4 muestras y se pesaron en balanza analítica, pudiendo calcular así el aceite absorbido de cada papa, utilizando los 5 gramos iniciales como base (los resultados se expresaron por 100g).

6. RESULTADOS

6.1. Análisis Proximal:

En la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos del análisis proximal de las hojuelas de papas fritas chilotas. Los valores obtenidos para cada hojuela de papa frita por separado se pueden observar en el Anexo 2.

Tabla 5: Resultados de análisis proximal para las cuatro variedades de hojuelas de papas fritas estudiadas.

Composición de hojuelas de papas	Red Lady (Control)	Michuñe Negra	Michuñe Roja	Overa
Humedad (g/100 g)	1,29	2,99	2,96	2,19
Proteína total (g/100 g)	5,47	5,86	6,28	6,35
Materia grasa (g/100 g)	45,03	30,19	30,62	35,75
Cenizas (g/100 g)	3,07	2,57	3,49	2,37
Fibra cruda (g/100 g)	0,91	1,00	2,18	1,02
Extracto no nitrogenado (g/100 g)	44,23	57,39	54,47	50,32
Calorías (Kcal/100 g)	604,07	524,71	518,58	566,43

*Los valores mostrados fueron entregados por Analab, sin repetición.

Se puede observar que el contenido de materia grasa de las hojuelas de papas fritas control es mucho mayor (45,03 g/100 g) que el de las tres variedades de hojuelas de papas fritas chilotas (30,19, 30,62 y 35,75 g/100 g para la Michuñe Negra, Michuñe Roja y Overa respectivamente). Este contenido de materia grasa está relacionado con el aceite que absorben las hojuelas de papas fritas durante el proceso de fritura.

Las hojuelas que presentaron el menor valor de fibra cruda fueron las de papa control (0,91 g/100 g). Las hojuelas de papas fritas Michuñe Negra y Overa presentaron un valor muy similar entre ellas y mayor al de la papa control (1,00 y 1,02 g/100 g respectivamente), mientras que la papa Michuñe Roja fue la que presentó el mayor valor de fibra cruda entre las cuatro variedades (2,18 g/100 g). En el estudio realizado por (Yingjie et al., 2022) se muestra que el uso de extractos

ricos en fibra dietaria son capaces de disminuir la cantidad de acrilamida e HMF en un producto ya procesado. Por ende, el hecho de que las variedades de papas chilotas tengan naturalmente un contenido de fibra cruda mayor que el de la papa control podría implicar que tienen un efecto positivo en la reducción de los neocontaminantes al realizar el proceso de fritura.

El contenido de proteínas presentes en la papa control (5,47 g/100 g) fue menor que el contenido de proteínas encontrado en las tres variedades de papas chilotas (5,86; 6,28; y 6,35 g/100 g para Michuñe Negra, Michuñe Roja y Overa respectivamente). El estudio realizado por (González-Mulero et al, 2021) muestra que la bioaccesibilidad de la acrilamida al momento de consumir productos horneados o fritos disminuye al ser consumidos junto a otros alimentos altos en proteínas, por lo que un mayor contenido de proteína tendría un efecto positivo sobre el contenido de AA final que absorbe el epitelio intestinal. Por ende, la composición de las variedades de hojuelas de papas fritas chilotas podría hacer que éstas contribuyan a una disminución de peligros asociados a la salud, además de ofrecer un mayor valor nutricional en comparación a la hojuela de papa frita control.

6.2. Contenido de Polifenoles totales:

En la Tabla 6 se presenta la concentración de polifenoles totales de cuatro variedades de papas crudas, todas tratadas bajo las mismas condiciones. Los valores presentados en esta tabla fueron obtenidos al aplicar la metodología de medición de contenido de polifenoles totales, los cuales se pueden apreciar en el Anexo 3.

Tabla 6. Contenido de polifenoles totales obtenido en las cuatro variedades de papa cruda.

Tipo de papa	Contenido de Polifenoles Totales ($\frac{\mu\text{g EAG}}{\text{g papa (b.h.)}} \pm \text{D.S.}$)
Red Lady (Control)	376,35 \pm 23,57
Michuñe Negra	1076,08 \pm 23,57
Michuñe Roja	1167,70 \pm 35,35
Overa	1175,08 \pm 47,14

*Los valores presentados corresponden al promedio \pm su desviación estándar, en duplicado.

Existió una variación en el contenido de polifenoles totales en los extractos obtenidos en las variedades de papas chilotas, en comparación al valor obtenido del extracto de la papa control. Polifenoles totales, expresados como mg equivalentes de ácido gálico (EAG) por g de extracto de papa (b.h), tendieron a ser mayores en los extractos de papa Michuñe Negra (1076,08), Michuñe Roja (1167,70), y Overa (1175,08), obteniéndose valores muy similares en las tres variedades, y aproximadamente 3 veces mayor que el valor de contenido de polifenoles totales obtenido en el extracto de papa control (376,35).

Estos resultados son acordes al estudio realizado por Kalita et al., (2013), donde se indica que las papas con pulpa de coloración rojiza y púrpura tienen un mayor contenido de polifenoles totales, y que la cantidad de estos polifenoles presentes tendrían una correlación negativa con respecto a la formación de acrilamida y otros subproductos de la reacción de Maillard (como el HMF) de las hojuelas de papas fritas.

Adicionalmente, se midió por separado el contenido de polifenoles totales de las cáscaras de papas Michuñe Roja (Anexo 3). En la tabla 7, se puede observar la comparación del contenido de polifenoles totales que se obtuvo de las papas Michuñe Roja y de sus cáscaras.

Tabla 7: Comparación del contenido de polifenoles totales obtenidos por la pulpa y por las cáscaras de la papa Michuñe Roja cruda.

Tipo de papa	Contenido de Polifenoles Totales ($\frac{\mu\text{g EAG}}{\text{g papa (b.h.)}}$)
Michuñe Roja	1167,70 ± 35,35
Cáscaras de Michuñe Roja	1210 ± 16,67

*Los valores presentados corresponden al promedio ± su desviación estándar.

Estos resultados indican que la cantidad de polifenoles de las cáscaras ($1210 \frac{\mu\text{g EAG}}{\text{g papa (b.h.)}}$) es muy similar al de la misma pulpa ($1167.70 \frac{\mu\text{g EAG}}{\text{g papa (b.h.)}}$). Este valor de polifenoles totales es similar o mayor al de otras variedades de papas como la Russett Burbank (1,2 – 3,9 mg EAG/ g papa), Diamond (1,12 – 2,91 mg EAG/ g papa), Agria (blanca) (3,2 – 10,3 mg/ 100 g de papa), entre otras, que se pueden ver en el estudio realizado por Rodriguez et al., (2014). De igual forma, este estudio muestra que las variedades de piel roja, en este caso la michuñe roja, tienden a tener una mayor cantidad de polifenoles totales que otras variedades de coloración de piel café o blanca.

6.3. Capacidad Antioxidante:

En la Tabla 8 se muestran los resultados de capacidad antioxidante de las cuatro variedades de papas, todas tratadas bajo las mismas condiciones, realizando una repetición para cada muestra. Los valores presentados en esta tabla corresponden al valor calculado según la metodología de medición de capacidad antioxidante DPPH, luego de haber obtenido los datos presentes en el Anexo 4.

Tabla 8. Capacidad antioxidante obtenida por metodología DPPH para cada variedad de papa cruda.

Tipo de papa	IC ₅₀ (g) ± D.S.
Red Lady (Control)	3,75*10 ⁻¹ ± 2,68*10 ⁻²
Michuñe Negra	1,10*10 ⁻¹ ± 3,33*10 ⁻²
Michuñe Roja	1,51*10 ⁻¹ ± 1,63*10 ⁻²
Overa	1,04*10 ⁻¹ ± 9,76*10 ⁻²

*Los valores presentados corresponden al promedio ± su desviación estándar, en triplicado.

La papa que obtuvo un mayor valor IC₅₀ fue la papa control Red Lady (3,75*10⁻¹g), siendo más de dos veces mayor que el de la variedad Michuñe Roja (1,51*10⁻¹ g), y más de tres veces mayor que los obtenidos por las variedades Michuñe Negra (1,10*10⁻¹ g) y Overa (1,04*10⁻¹ g) por lo que los antioxidantes presentes en las papas chilotas tienen una mayor capacidad para reducir el radical inicial DPPH en un 50%, lo que significa que requieren una menor cantidad de antioxidantes para realización de este proceso, por ende, poseen una mayor capacidad antioxidante que la papa control.

Estos resultados podrían explicarse por la presencia de antocianinas en las papas de coloración púrpura y roja, en este caso, las tres muestras de papas chilotas. Según el estudio realizado por (Wang et al.,2018), la adición de extractos de antocianinas puede inhibir significativamente la epoxidación de acrilamida a glicidamida, siendo este último uno de los principales metabolitos resultantes de la absorción de acrilamida en el tracto intestinal. Por ello, tendría un efecto positivo sobre la disminución en la absorción de acrilamida y la toxicidad de esta última.

De igual forma, se midió la capacidad antioxidante de las cáscaras de la papa chilota Michuñe Roja (Anexo 4), para ver si existe una actividad considerable. En la tabla 9, se puede observar la comparación de la capacidad antioxidante que se obtuvo de las papas Michuñe Roja y de sus cáscaras.

Tabla 9: Comparación de la capacidad antioxidante obtenida por la pulpa y por las cáscaras de la papa Michuñe Roja cruda.

Tipo de papa	IC ₅₀ (g)
Michuñe Roja	1,51*10 ⁻¹ ± 1,63*10 ⁻²
Cáscaras de Michuñe Roja	4,92*10 ⁻² ± 7,66*10 ⁻²

*Los valores presentados corresponden al promedio ± su desviación estándar, en triplicado.

El valor IC₅₀ obtenido por la cáscara de la papa Michuñe Roja (4,92*10⁻² g), al ser menor que el obtenido por la pulpa de esta (1,51*10⁻¹ g), implica que en la cáscara existe una mayor capacidad antioxidante que en la pulpa de esta variedad de papa chilota. En el estudio realizado por Rodriguez et al., (2014), se nota que existe una correlación positiva entre los polifenoles totales presentes en las cáscaras de papas, y su capacidad antioxidante. Sin embargo, en el estudio presente, para la papa michuñe roja, se observa que el contenido de polifenoles totales de la cáscara y de la pulpa es muy similar entre sí, pero la capacidad antioxidante en la cáscara es superior que la de la pulpa, por lo que existe la posibilidad de que haya una diferencia de polifenoles específicos presentes en la cáscara, y que no estén presentes (o estén presentes en menor medida) en la pulpa, que tengan una mayor capacidad antioxidante, lo que podría explicar esta diferencia en el valor obtenido.

Dentro del ascendente impacto ambiental en la agroindustria y el contexto de economía circular, hay una necesidad urgente de reutilizar subproductos y desechos a la cadena alimentaria e industrias relacionadas. La industria procesadora de papas genera una gran cantidad de desechos voluminosos, los cuales son usualmente descartados o usados como alimento animal, incrementando así el impacto ambiental y disminuyendo el valor general agregado del cultivo. Las cáscaras de papas, el principal subproducto de este proceso, recientemente han ganado el interés de la comunidad de investigación y de las industrias alimenticias y farmacéuticas debido a su prometedora composición química y valor nutricional. Varios estudios han destacado el gran potencial de recuperar componentes bioactivos de las pieles de papas que pueden ser usados

como agentes antimicrobianos o como ingredientes funcionales en productos alimenticios y suplementos. Considerando la naturaleza voluminosa de las cáscaras de papas, investigaciones futuras son necesarias para facilitar la explotación industrial de este material prometedor con métodos verdes eficientes, mientras que usos alternativos también deben ser explorados para incrementar el valor general agregado de este importante cultivo (Sampaio et al., 2020).

6.4. Contenido de Acrilamida:

En la tabla 10 se presentan los resultados del contenido de acrilamida presente en los cuatro extractos de hojuelas de papas fritas, todas fritas bajo las mismas condiciones. Los valores de esta tabla corresponden al promedio de los valores obtenidos utilizando la metodología de medición de acrilamida, que se pueden apreciar en el Anexo 5.

Tabla 10. Contenido de acrilamida obtenido para cada variedad de hojuela de papa frita.

Tipo de papa	Contenido de Acrilamida ($\mu\text{g}/\text{kg}$) Promedio \pm D.S.
Red Lady (Control)	1392 \pm 75,4
Michuñe Negra	620 \pm 42,5
Michuñe Roja	740 \pm 8,2
Overa	934 \pm 6,0

*Los valores presentados corresponden al promedio \pm su desviación estándar, en triplicado.

Se puede apreciar que la muestra control tiene un contenido mucho mayor de acrilamida que las tres muestras de papas fritas chilotas, teniendo un valor incluso dos veces mayor en comparación al contenido de acrilamida de la Michuñe Negra. La razón de esto podría ser explicada debido a la mayor presencia natural de compuestos fenólicos en las papas chilotas, que no solo implicaría una mayor capacidad antioxidante en éstas, sino que también podría tener un efecto inhibitorio en la formación de acrilamida del producto final.

Existen estudios que reportan resultados contradictorios con respecto al efecto de los componentes fenólicos sobre el nivel de acrilamida, donde ciertos estudios reportan que la adición de componentes fenólicos puros tales como ácido cafeico, catequina, ácido ferúlico, ácido cinámico, ácido cumárico, ácido gálico, y epicatequina no mitigaron la formación de acrilamida en un modelo acuoso (Bassama et al., 2010), mientras que otros reportan que existe una significativa reducción de acrilamida luego de la adición de ácido ferúlico y ácido cafeico (Kotsiou et al., 2011). Sin embargo, en el estudio realizado por Kalita et al., (2013), se nota que los tubérculos de papa con piel morada y roja mostraron un menor nivel de acrilamida que las papas de piel blanca y amarilla, lo que se puede explicar por la mayor presencia de compuestos fenólicos y ácido clorogénico en las papas de color. Por esta razón, las variedades de papas ricas en ácido clorogénico y componentes fenólicos totales pueden presentar una menor formación de acrilamida luego del proceso de fritura.

6.5. Contenido de HMF:

En la tabla 11 se presentan los resultados de la cantidad de HMF presente en los cuatro extractos de hojuelas de papas fritas, todas fritas bajo las mismas condiciones, tomándose un promedio de los datos obtenidos al seguir la metodología de medición de HMF, que se pueden apreciar en el Anexo 6.

Tabla 11. Contenido de HMF obtenido para cada variedad de hojuela de papa frita.

Tipo de papa	Contenido de HMF ($\mu\text{g}/\text{kg}$) \pm D.S.
Red Lady (Control)	827,58 \pm 146,90
Michuñe Negra	159,32 \pm 36,90
Michuñe Roja	109,48 \pm 8,40
Overa	190,56 \pm 13,45

*Los valores presentados corresponden al promedio \pm su desviación estándar, en triplicado.

Se observa que, al igual que la acrilamida, la cantidad de HMF presente en el extracto de hojuelas de papas control es muy superior al de las hojuelas de papas fritas chilotas, lo cual tiene sentido considerando que ambos neocontaminantes son

resultantes de la reacción de Maillard, que es donde la capacidad antioxidante, los componentes fenólicos, y la composición de las papas chilotas hacen la diferencia en la inhibición de la formación de acrilamida y HMF con respecto a la papa control. Estos resultados podrían explicarse utilizando como referencia el estudio realizado por Yingjie et al., (2022), donde se logró observar que al añadir compuestos polifenólicos (ácidos protocatecuico, vinílico, cumárico, y cafeico, que tienen gran presencia en papas chilotas (Arcos, 2015)) a un producto horneado, se logra inhibir la formación de acrilamida e HMF, ya que estos ácidos polifenólicos tienen menor impedimento estérico, y más sitios disponibles para capturar los intermediarios activos que permiten la formación de los neocontaminantes. Así también, todos los polifenoles (a excepción del ácido cumárico) son capaces de expulsar los radicales hidroxilos libres generados en la reacción.

6.6. Contenido de aceite

En la tabla 12 se ven los resultados de absorción de aceite de cada muestra de hojuela de papas fritas obtenidas mediante extracción por hexano. Estos valores fueron calculados según los datos adquiridos al aplicar la metodología de medición de absorción de aceite, los cuales se pueden ver en el Anexo 7.

Tabla 12. Contenido de aceite de cada variedad de hojuela de papas fritas al final de la fritura.

Tipo de papa	Aceite por muestra seca (g/100 g) ± D.S.
Red Lady (Control)	42,09 ± 0,09
Michuñe Negra	35,31 ± 0,84
Michuñe Roja	30,76 ± 0,44
Overa	33,58 ± 1,71

*Los valores presentados corresponden al promedio ± su desviación estándar, en triplicado.

En el estudio realizado por Yang et al., (2016), se da a entender que, si bien el factor de la absorción de aceite de las papas no es el principal precursor en la formación de acrilamida, si tiene cierta influencia sobre el contenido de acrilamida del producto final. Hay que notar que ese estudio fue realizado con papas fritas de corte americano, mientras que el presente estudio fue realizado sobre hojuelas de papas

fritas lisas, las cuales absorben más aceite debido a su mayor superficie. Los resultados de contenido de aceite final obtenidos acá varían un poco con respecto a los obtenidos del análisis proximal que se mandó a realizar, lo que podría deberse a diferencias en las metodologías utilizadas, o al hecho de que en el proximal solo se realizó una repetición. Aun así, en ambos casos se logra observar que el contenido de aceite final de las variedades de hojuelas de papas chilotas es menor al contenido de aceite final de la variedad control, por lo que no solo las papas chilotas tendrían un contenido menor de grasa final, sino que también podría ser una explicación a que tengan un contenido de acrilamida menor al de la papa control.

6.7. Recopilación de los resultados obtenidos en los análisis previos.

En la tabla 13 se muestra un resumen de todos los resultados obtenidos al analizar las cuatro variedades de papas estudiadas.

Tabla 13: Resumen de los resultados de análisis obtenidos para las cuatro variedades de papas estudiadas.

	Red (Control)	Lady	Michuñe Negra	Michuñe Roja	Overa
Proteína (g/100 g)	5,47		5,86	6,28	6,35
Fibra cruda (g/100 g)	0,91		1,00	2,18	1,02
Contenido de polifenoles totales ($\frac{\mu\text{g EAG}}{\text{g papa (b.h.)}$)	376,35 ± 23,57		1076,08 ± 23,57	1167,70 ± 35,35	1175,08 ± 47,14
Capacidad Antioxidante (g)	$3,75 \cdot 10^{-1}$ $2,68 \cdot 10^{-2}$	±	$1,10 \cdot 10^{-1}$ $3,33 \cdot 10^{-2}$	±	$1,51 \cdot 10^{-1}$ $1,63 \cdot 10^{-2}$
Contenido de Acrilamida (μg/kg)	1392 ± 75,4		620 ± 42,5	740 ± 8,2	934 ± 6,0
Contenido de HMF (μg/kg)	827,58 119,94	±	159,32 ± 30,13	109,48 ± 6,86	190,56 ± 10,98
Contenido de Aceite (g/100 g)	42,09 ± 0,09		35,31 ± 0,84	30,76 ± 0,44	33,58 ± 1,71

En esta recapitulación de datos se puede observar que las tres variedades de papas chilotas crudas teniendo un mayor contenido de polifenoles totales, y una mayor capacidad antioxidante, forman un menor contenido de acrilamida y HMF, y un menor contenido de aceite presente en las hojuelas de papas fritas hechas a partir de estas mismas papas en comparación a los valores obtenidos por la papa control Red Lady, así como también se puede apreciar que un mayor contenido de proteína y fibra cruda en las hojuelas de papas fritas chilotas está asociado de igual forma a una menor cantidad formada de los neocontaminantes estudiados en estas mismas hojuelas, por lo que todas estas variables podrían jugar un papel en la reducción de la formación de los neocontaminantes del producto final. Sin embargo, un estudio más profundo es requerido para saber cuál o cuáles de estas variables son las que influyen directamente en la reducción del contenido de acrilamida y HMF en la hojuela de papa frita.

7. CONCLUSIONES

- El contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante presentes en las variedades de papas chilotas fue mayor que el observado en la variedad control. Además, las cáscaras de la papa chilota Michuñe Roja poseen un contenido de polifenoles totales similar al de la pulpa, y una mayor capacidad antioxidante.
- La composición en las hojuelas de papas fritas chilotas mostró un mayor contenido de ciertos macronutrientes como proteína y fibra cruda, así como también un menor contenido de aceite absorbido, en comparación a la hojuela de papa frita control, con un mayor valor nutricional en las variedades nativas.
- La cantidad de AA y HMF obtenida en las hojuelas de papas fritas chilotas fue considerablemente menor al comparar la cantidad de neocontaminantes obtenida en las hojuelas de papa frita control.
- El contenido de polifenoles, la capacidad antioxidante, la composición, y en menor medida, la absorción de aceite en las papas chilotas tendrían un efecto positivo en la disminución de acrilamida y HMF en el producto final en hojuelas de papas fritas de estas variedades, debido a la presencia natural de componentes fenólicos presentes en estas variedades, con una composición más rica en proteínas y fibra que disminuiría la presencia y bioaccesibilidad de estos neocontaminantes en las hojuelas.
- Por ende, se acepta la hipótesis planteada que indica que la composición, el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante presente en las variedades de papas chilotas tendría un efecto positivo sobre la reducción de la formación de acrilamida y HMF que se forma en las papas durante la fritura.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Ah-Hen, K., Fuenzalida, C., Hess, S., Contreras, A., Vega-Gálvez, A., Lemus-Mondaca, R. (2012). **Antioxidant capacity and total phenolic compounds of twelve selected potato landrace clones grown in southern Chile.** *Chil. J. Agric. Res.*, 72 (2012), pag. 3-9
- AOAC (2000). AOAC (Association of Analytical Chemists) **Official Methods of Analysis** (17th ed.), AOAC International, Gaithersburg, MD, USA (2000).
- Arcos, C. (2015). **Relación entre el Contenido de Polifenoles y la Digestibilidad de Almidón *in vitro* en Papas Nativas Chilenas.** Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, memoria presentada como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero en Alimentos.
- Aviles, R., Carrión, J., Huamán, J., Bravo, M., Rivera, D., Rojas, N., & Santiago, J (2010). **Actividad antioxidante, polifenoles totales y contenido de taninos de extractos de tara, caesalpinia spinosa.** *Revista peruana química e Ingeniería Química. Vol. 13, pag. 05-11.*
- Bassama, J., Brat, P., Bohuon, P., Boulanger, R., & Gunata, Z. (2010). **Study of acrylamide mitigation in model system: Effect of pure phenolic compounds.** *Food Chemistry, Vol. 123, pag 558-562.*
- Calisto, K. (2012). **Optimización de un Producto Crocante tipo “Snack” a Partir de papas Nativas de Chiloé, Michuñe Negra y Michuñe Roja.** Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Ingeniería en Alimentos, memoria presentada como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero en Alimentos.
- Cao, P., Zhang, L., Yang, Y., Wang, X., Liu, Z., Li, J., Wang, L., Chung, S., Zhou, M., Deng, K., Zhou, P., Wu, P. (2022). **Analysis of furan and its major furan derivatives in coffee products on the Chinese market using HS-GC-MS and the estimated exposure of the Chinese population.** *Food Chemistry, Vol. 387.*
- Capuano, E. & Fogliano, V. (2011). **Acrylamide and 5-Hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity,**

- occurrence in food and mitigation strategies.** *LWT – Food Science and Technology*, Vol. 44, Issue 4, pag. 793-810, Elsevier.
- Contreras, A. & Castro, I. (2008). **Catálogo de variedades de papas nativas de Chile.** <http://www.potatogenebank.cl/images/catalogopapasnativas.pdf>.
 - De Haan, S., Rodríguez, F. (2016). **Chapter 1 – Potato Origin and Production.** *Advances in Potato Chemistry and Technology (Second Edition)*, pag. 1-32, Academic Press.
 - De Meulenaer, B.; Medeiros, R.; Mestdagh, F. (2016). **Chapter 18 – Acrylamide in Potato Products.** *Advances in Potato Chemistry and Technology (Second Edition)*, 2016, pag. 527-562.
 - Fellows, P.J. (2022). **Chapter 17 – Frying.** *Food Processing Technology (Fifth Edition). Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition 2022*, pag. 505-522.
 - Glatt, H. and Sommer, Y. (2006). **15 – Health risks of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) and related compounds.** *Acrylamide and Other Hazardous Compounds in Heat-Treated Products, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition 2006*, pag. 328-357.
 - González-Mulero, L., Mesias, M., Morales, F.J., Delgado-Andrade, C. (2021). **Bioaccesibilidad de la acrilamida en galletas y cereales de desayuno.** *Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición (ICTAN-CSIC)*.
 - Haicui, Suo, Ziting, P., Zhiqiang, Guo., Chengjunhong, Wu., Jitao, Liu., Li, W., Juan, X., Xiaobo, Li. (2022). **Deep eutectic solvent-based ultrasonic assisted extraction of phenolic compounds from different potato genotypes: Comparison of free and bound phenolic profiles and antioxidant activity.** *Food Chemistry*, Vol. 388.
 - Imarcgroup (2023). Potato Chips Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2022-2027 [En línea] <https://www.imarcgroup.com/potato-chips-manufacturing-plant> [Consulta 08 de Enero de 2023].

- INIA (2019). **Productor de papas orgánicas: “Yagana-INIA y Desirée son las mas vendidas** [En línea] <https://www.inia.cl/blog/2019/04/22/productor-de-papas-organicas-yagana-inia-y-desiree-son-las-mas-vendidas/> [Consulta 01 de Octubre de 2022].
- Liberty, J. T., Dehghannya, J., Ngadi, M.O. (2019) **Effective strategies for reduction of oil content in Deep-fat fried food: a review.** *Trends in Food Science & Technology. Vol. 92, pag. 172-183.*
- Kalita, D., Holm, David G., Jayanty, Sastry S. (2013). **Role of polyphenols in acrylamide formation in the fried products of potato tubers with colored flesh.** *Food Research International, Vol. 54, Issue 1.*
- Kotsiou, K., Tasiols-Margari, Capuano, E., & Fogliano, V. (2011). **Effect of standard phenolic compounds and olive oil phenolic extract on acrylamide formation in an emulsion system.** *Food Chemistry, Vol. 124, pag. 242-247.*
- Lee Kuek et al. (2020). **Contribution lo lipids towards acrylamide formation during intermittent frying of French fries.** *Food Control, Vol. 118.*
- N. Muttucumaru, S.J. Powers, J.S. Elmore, A. Dodson, A. Briddon, D.S. Mottram, N.G. Halford (2017). **Acrylamide-forming potential of potatoes grown at different locations, and the ratio of free asparagine to reducing sugars at which free asparagine becomes a limiting factor for acrylamide formation.** *Food Chem, Vol. 220 (2017), pag. 76-86.*
- Mousa, R., Mousa, A. (2018). **Simultaneous inhibition of acrylamide and oil uptake in deep fat fried potato strips using gum Arabic-based coating incorporated with antioxidants extracted from spices.** *Food Hydrocolloids, Volume 83, pages 265-274.*
- Pedreschi, F., Cortez, P., Mariotti, M.S. (2018). **Potato Crisps and Snack Foods.** *Reference Module in Food Science. Elsevier.*
- Potato Chips (2022). **Snack Food – Statista consumer market outlook** [En Línea] <https://www-statista->

com.uchile.idm.oclc.org/outlook/40110000/157/snack-food/chile> [Consulta 02 de Diciembre de 2022].

- Quan, W., He, W., Qie, X., Chen, Y., Zeng, M., Qin, F., Chen, J., He, Z. (2020) **Effects of β -cyclodextrin, whey protein, and soy protein on the thermal and storage stability of anthocyanins obtained from purple-fleshed sweet potatoes.** *Food Chemistry*, Vol. 320.
- Quan, W., Zhilin, W., Jiao, Y., Guoping, L., Zhaojun, W., Zhiyong, H., Guanjuan, T., Fang, Q., Maomao, Z., Jie, C. (2020). **Exploring the relationship between potato components and Maillard reaction derivative harmful products using multivariate statistical analysis.** *Food Chemistry* 339.
- Rodríguez, Isabel; Franco, Daniel; Sánchez, Marivel; Zapata, Carlos; Vásquez, José Antonio (2014). **Optimisation of antioxidant extraction from *Solanum tuberosum* potato peel waste by surface response methodology.** *Food Chemistry*, Vol. 165, pag. 290-299.
- Sampaio, S.L., Petropoulos, S.A., Alexopoulos, A., Heleno, S.A., Santos-Buelga, C., Barros, L., Ferreira, Isabel C.F.R. (2020). **Potato peels as sources of functional compounds for the food industry: A review.** *Trends in Food Science & Technology* vol. 103, pag. 118-129.
- Silveira, A.C.; Oyarzun, D.; Sepúlveda, A.; Escalona, V. (2017). **Effect of genotype, raw-material storage time and cut type on native potato suitability for fresh-cut elaboration.** *Postharvest Biology and Technology*, Vol. 128, pag.1-10.
- Solana (2015). Catálogo de variedades [En Línea] https://www.solana.de/kartoffelsorten-detail_es/items/red-lady.html?pdf=create&id=37 [Consulta 31 de Agosto de 2022].
- Toker, S.; M. Dogan, M.; Erzos, N.; Yilmaz, M. (2013). **Optimization of the content of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) formed in some molasses types: HPLC-DAD analysis to determine effect of different storage time and temperature levels.** *Industrial Crops and Products*, 50, pag. 137– 144.

- Wang, P.; Ji, R.; Ji, J.; Chen, F. (2018). **Changes of metabolites of acrylamide and glycidamide in acrylamide-exposed rats pretreated with blueberry anthocyanins extract.** *Food Chemistry*, Vol. 274, pag. 611-619.
- Yang, Y., Achaerandio, I., Pujolá, M. (2016). **Influence of the frying process and potato cultivar on acrylamide formation in French fries.** *Food Control* 62, 216-223.
- Yingjie Ma, Huang, H., Zhang, Y., Li, F., Gan, B., Yu, Q., Xie, J., Chen, Y. (2022). **Soluble dietary fiber from tea residues with inhibitory effects against acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation in biscuits: The role of bound polyphenols.** *Food Research International* 159.
- Žilić, S. (2016). **Chapter 10 – Acrylamide in Soybean Products, Roasted Nuts, and Dried Fruits.** *Acrylamide in Food*, pag. 197-213.

9. ANEXO

Anexo 1:

Cortadora de Fiambre S220 Comercial
Maquinet



Freidora eléctrica con controlador de
temperatura "Novus".



Termobalanza AND MS-70, 71g x 0,001g



Anexo 2: Resultados de análisis proximal obtenidos para cada variedad de hojuela de papa frita estudiada.

Red Lady

ANÁLISIS SOLICITADO	RESULTADOS
<u>PROXIMAL CON FIBRA CRUDA</u>	
HUMEDAD	1,29 g/100 g
PROTEINA TOTAL	5,47 g/100 g
MATERIA GRASA	45,03 g/100 g
CENIZAS	3,07 g/100 g
FIBRA CRUDA	0,91 g/100 g
EXTRACTO NO NITROGENADO	44,23 g/100 g
CALORIAS	604,07 Kcal/100 g

Michuñe Negra

ANÁLISIS SOLICITADO	RESULTADOS
<u>PROXIMAL CON FIBRA CRUDA</u>	
HUMEDAD	2,99 g/100 g
PROTEINA TOTAL	5,86 g/100 g
MATERIA GRASA	30,19 g/100 g
CENIZAS	2,57 g/100 g
FIBRA CRUDA	1,00 g/100 g
EXTRACTO NO NITROGENADO	57,39 g/100 g
CALORIAS	524,71 Kcal/100 g

Michuñe Roja

ANÁLISIS SOLICITADO	RESULTADOS
<u>PROXIMAL CON FIBRA CRUDA</u>	
HUMEDAD	2,96 g/100 g
PROTEINA TOTAL	6,28 g/100 g
MATERIA GRASA	30,62 g/100 g
CENIZAS	3,49 g/100 g
FIBRA CRUDA	2,18 g/100 g
EXTRACTO NO NITROGENADO	54,47 g/100 g
CALORIAS	518,58 Kcal/100 g

Overa

ANÁLISIS SOLICITADO	RESULTADOS
PROXIMAL CON FIBRA CRUDA	
HUMEDAD	2,19 g/100 g
PROTEINA TOTAL	6,35 g/100 g
MATERIA GRASA	35,75 g/100 g
CENIZAS	2,37 g/100 g
FIBRA CRUDA	1,02 g/100 g
EXTRACTO NO NITROGENADO	50,32 g/100 g
CALORIAS	566,43 Kcal/100 g

Anexo 3: Resultados de determinación de contenido de polifenoles totales obtenidos mediante espectrofotómetro de masas.

Curva de calibración

Stand NO.	Index	Conc. ug/ml	Abs	WL(nm)
				765
1	1	50	0.166	0,166
2	1	100	0.178	0,178
3	1	150	0.199	0,199
4	1	200	0.224	0,224
5	1	250	0.235	0,235
6	1	300	0.251	0,251
7	1	350	0.268	0,268
8	1	400	0.298	0,298
9	1	500	0.314	0,314

Resultados de muestras

Sample NO.	Index	Conc. ug/ml	Abs	WL(nm)	
				765	
1	1	78.667	0.172	0,172	Control
2	1	218.667	0.214	0,214	Michuñe Negra
3	1	238.667	0.22	0,220	Michuñe Roja
4	1	242	0.221	0,221	Overa
5	1	242	0.221	0,221	Cáscaras MR
6	1	72	0.17	0,170	Control
7	1	212	0.212	0,212	Michuñe Negra
8	1	228.667	0.217	0,217	Michuñe Roja
9	1	228.667	0.217	0,217	Overa
Conc. ug/ml $R = 0,993984$ Abs = $0,1484 + 0,0003 * C$					

Anexo 4: Resultados de capacidad antioxidante DPPH obtenidos mediante espectrofotómetro de masas.

Red Lady 1

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1208	Blanco
2	1	Abs	0.5006	Muestra
3	1	Abs	0.4941	Muestra
4	1	Abs	0.4966	Muestra
5	1	Abs	0.5178	Control
6	1	Abs	0.5175	Control
7	1	Abs	0.5138	Control

Red Lady 2

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1224	Blanco
2	1	Abs	0.5061	Muestra
3	1	Abs	0.4984	Muestra
4	1	Abs	0.4982	Muestra
5	1	Abs	0.5162	Control
6	1	Abs	0.5153	Control
7	1	Abs	0.5127	Control

Red Lady 3

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1215	Blanco
2	1	Abs	0.5043	Muestra
3	1	Abs	0.2587	ELIMINADO
4	1	Abs	0.5057	Muestra
5	1	Abs	0.5042	ELIMINADO
6	1	Abs	0.5168	Control
7	1	Abs	0.5168	Control
8	1	Abs	0.5136	Control

Red Lady 4

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1217	Blanco
2	1	Abs	0.5107	Muestra
3	1	Abs	0.5067	Muestra
4	1	Abs	0.5051	Muestra
5	1	Abs	0.5168	Control
6	1	Abs	0.5161	Control
7	1	Abs	0.5133	Control

Red Lady 5

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1258	Blanco
2	1	Abs	0.5065	Muestra
3	1	Abs	0.5073	Muestra
4	1	Abs	0.506	Muestra
5	1	Abs	0.5123	Control
6	1	Abs	0.5122	Control
7	1	Abs	0.5084	Control

Michuñe Negra 1

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1080	Blanco
2	1	Abs	0.4082	Muestra
3	1	Abs	0.4054	Muestra
4	1	Abs	0.4045	Muestra
5	1	Abs	0.4954	Control
6	1	Abs	0.4883	Control
7	1	Abs	0.4951	Control

Michuñe Negra 2

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1087	Blanco
2	1	Abs	0.4221	Muestra
3	1	Abs	0.4305	Muestra
4	1	Abs	0.4384	Muestra
5	1	Abs	0.4972	Control
6	1	Abs	0.487	Control
7	1	Abs	0.4924	Control

Michuñe Negra 3

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1112	Blanco
2	1	Abs	0.4403	Muestra
3	1	Abs	0.4304	Muestra
4	1	Abs	0.4329	Muestra
5	1	Abs	0.4919	Control
6	1	Abs	0.4875	Control
7	1	Abs	0.4937	Control

Michuñe Negra 4

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1098	Blanco
2	1	Abs	0.4462	Muestra
3	1	Abs	0.4313	Muestra
4	1	Abs	0.4295	Muestra
5	1	Abs	0.4953	Control
6	1	Abs	0.4852	Control
7	1	Abs	0.4945	Control

Michuñe Negra 5

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1043	Blanco
2	1	Abs	0.4447	Muestra
3	1	Abs	0.4534	Muestra
4	1	Abs	0.4584	Muestra
5	1	Abs	0.4977	Control
6	1	Abs	0.4925	Control
7	1	Abs	0.4979	Control

Michuñe Roja 1

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1185	Blanco
2	1	Abs	0.4388	Muestra
3	1	Abs	0.4493	Muestra
4	1	Abs	0.4469	Muestra
5	1	Abs	0.5214	Control
6	1	Abs	0.5493	Control
7	1	Abs	0.5135	Control

Michuñe Roja 2

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1131	Blanco
2	1	Abs	0.457	Muestra
3	1	Abs	0.4611	Muestra
4	1	Abs	0.4505	Muestra
5	1	Abs	0.5299	Control
6	1	Abs	0.5602	ELIMINADO
7	1	Abs	0.5219	Control

Michuñe Roja 3

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1143	Blanco
2	1	Abs	0.4624	Muestra
3	1	Abs	0.4597	Muestra
4	1	Abs	0.4535	Muestra
5	1	Abs	0.5287	Control
6	1	Abs	0.5597	ELIMINADO
7	1	Abs	0.5217	Control

Michuñe Roja 4

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1197	Blanco
2	1	Abs	0.4628	Muestra
3	1	Abs	0.4531	Muestra
4	1	Abs	0.463	Muestra
5	1	Abs	0.5232	Control
6	1	Abs	0.5485	ELIMINADO
7	1	Abs	0.5142	Control

Michuñe Roja 5

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1191	Blanco
2	1	Abs	0.3106	ELIMINADO
3	1	Abs	0.4702	Muestra
4	1	Abs	0.4853	Muestra
5	1	Abs	0.5232	Control
6	1	Abs	0.5502	ELIMINADO
7	1	Abs	0.5151	Control

Overa 1

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0.1189	Blanco
2	1	Abs	0.433	Muestra
3	1	Abs	0.423	Muestra
4	1	Abs	0.4397	Muestra
5	1	Abs	0.502	Control
6	1	Abs	0.5029	Control
7	1	Abs	0.4801	ELIMINADO
8	1	Abs	0.4771	ELIMINADO

Overa 2

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1184	Blanco
2	1	Abs	0.4427	Muestra
3	1	Abs	0.4328	Muestra
4	1	Abs	0.4381	Muestra
5	1	Abs	0.5034	Control
6	1	Abs	0.5035	Control
7	1	Abs	0.4766	Control

Overa 3

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1220	Blanco
2	1	Abs	0.458	ELIMINADO
3	1	Abs	0.4458	Muestra
4	1	Abs	0.4402	Muestra
5	1	Abs	0.4979	Control
6	1	Abs	0.4982	Control
7	1	Abs	0.4751	ELIMINADO

Overa 4

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1218	Blanco
2	1	Abs	0.4457	Muestra
3	1	Abs	0.4515	Muestra
4	1	Abs	0.4469	Muestra
5	1	Abs	0.5006	Control
6	1	Abs	0.4997	Control
7	1	Abs	0.4756	ELIMINADO

Overa 5

NO.	Index	Mode	A	
			517nm	
1	1	Abs	-0,1250	Blanco
2	1	Abs	-0,1250	Blanco
3	1	Abs	0.4701	Muestra
4	1	Abs	0.4688	Muestra
5	1	Abs	0.4748	Muestra
6	1	Abs	0.4953	Control
7	1	Abs	0.4971	Control
8	1	Abs	0.4739	ELIMINADO

Anexo 5: Resultados de contenido de acrilamida obtenido por cromatografía de gases/MS.

MUESTRAS											
GRAMOS DE MUESTRA		2 g									
MUESTRAS	AREA ION 70	AREA ION 73	RAZON AREA 70/73	TIEMPO DE RETENCION (MIN)	CONC. (ug/L)	PROM (ug/L)	DESV STD (ug/L)	CONC. (ug/Kg)	PROM (ug/Kg)	DESV STD (ug/Kg)	CV
JOSE C1	513464	134445	3.82	13.52	1478	1392	75.4	1478	1392	75.4	5%
JOSE C2	406685	115923	3.51	13.52	1357			1357			
JOSE C3	439987	127004	3.46	13.52	1340			1340			
JOSE MN1	218553	130217	1.68	13.53	644	620	42.5	644	620	42.5	7%
JOSE MN2	203332	136374	1.49	13.52	571			571			
JOSE MN3	305696	181798	1.68	13.52	645			645			
JOSE MR1	189085	99109	1.91	13.53	733	740	8.2	733	740	8.2	1%
JOSE MR2	161884	83060	1.95	13.52	749			749			
JOSE MR3	164646	85684	1.92	13.52	738			738			
JOSE O1	168908	69240	2.44	13.52	940	934	6.0	940	934	6.0	1%
JOSE O2	158738	65781	2.41	13.52	930			930			
JOSE O3	100453	41636	2.41	13.52	930			930			

Anexo 6: Resultados de contenido de HMF obtenido por HPLC con detector de diodos.

By Component		HMF					
No.	Injection Name	Ret.Time min UV_VIS_1 HMF	Area mAU*min UV_VIS_1 HMF	Height mAU UV_VIS_1 HMF	Amount ug/L UV_VIS_1 HMF	Rel.Area % UV_VIS_1 HMF	Peak Type UV_VIS_1 HMF
8	Jose C1	5.900	0.107	0.97	34.427	100.00	BMB*^
9	Jose C2	5.927	0.123	1.05	40.647	100.00	BMB*^
10	Jose C3	5.937	0.144	1.15	49.063	100.00	BMB*^
11	Jose C1 + std	5.953	0.930	7.16	359.003	100.00	BMB*^
12	Jose MN1	5.947	0.045	0.38	10.056	100.00	BMB*^
13	Jose MN2	5.943	0.038	0.36	7.276	100.00	BMB*^
14	Jose MN3	5.947	0.036	0.31	6.564	100.00	BMB*^
15	Jose MR1	5.950	0.035	0.33	5.867	100.00	BMB*^
16	Jose MR2	5.953	0.034	0.33	5.524	100.00	BMB*^
17	Jose MR3	5.940	0.032	0.30	5.031	100.00	BMB*^
18	Jose O1	5.950	0.046	0.39	10.180	100.00	BMB*^
19	Jose O2	5.947	0.042	0.38	8.836	100.00	BMB*^
20	Jose O3	5.947	0.044	0.38	9.568	100.00	BMB*^

Anexo 7: Resultados de absorción de aceite de las hojuelas de papas fritas.

nombre muestras	peso balon (g)	papel filtro (g)	muestra (g)	filtro +muestras + corchetes (g)	balon + aceite (g)	muestras seca desengrasa (g)	corchetes (g)	aceite por muestra (g)	agua por muestras (g)	aproximacion agua (g)	% de aceite en base humeda	% de aceite en base humedad desengrasada	% de aceite en base seca	% de aceite en base seca desengrasada
Control	115.8332	1.8908	5.0015	7.1557	117.9345	2.9446	0.2634	2.1013	-0.0444		42.01%	72.45%	42.01%	71.36%
M. Negra	110.4793	1.8593	5.0022	6.9914	112.2836	3.1665	0.1299	1.8043	0.0314		36.07%	56.42%	36.07%	56.98%
M. Roja	104.7062	1.93	5.0014	7.0628	106.2533	3.4498	0.1314	1.5471	0.0045		30.93%	44.79%	30.93%	44.85%
Overa	114.0644	1.8687	5.0012	6.9964	115.8398	3.2842	0.1265	1.7754	-0.0584		35.50%	55.04%	35.50%	54.06%
Control	116.4243	1.6411	5.0022	6.7782	117.9248	2.7883	0.1349	1.5005	0.7134		30.00%	42.85%	30.00%	53.81%
M. Negra	110.4685	1.4194	5.0018	6.5515	112.2401	3.11	0.1303	1.7716	0.1202		35.42%	54.84%	35.42%	56.96%
M. Roja	104.7039	1.6066	5.003	6.737	106.2579	3.3591	0.1274	1.554	0.0899		31.06%	45.06%	31.06%	46.26%
Overa	114.0621	1.588	5.0035	6.7193	115.6757	3.2706	0.1278	1.6136	0.1193		32.25%	47.60%	32.25%	49.34%
Control	115.8682	1.9182	5.0046	7.0512	117.9757	2.8433	0.1284	2.1075	0.0538		42.11%	72.75%	42.11%	74.12%
M. Negra	104.3756	2.0348	5.003	7.1643	106.0965	3.1253	0.1265	1.7209	0.1568		34.40%	52.43%	34.40%	55.06%
M. Roja	104.725	2.0008	5.0023	7.1303	106.2381	3.4008	0.1272	1.5131	0.0884		30.25%	43.37%	30.25%	44.49%
Overa	103.3416	1.9301	5.0043	7.0583	104.9891	3.2052	0.1239	1.6475	0.1516		32.92%	49.08%	32.92%	51.40%