

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE FREIDORA A VACÍO Y
SU INFLUENCIA EN EL CONTENIDO DE ACRILAMIDA EN
PAPAS (*Solanum tuberosum*) FRITAS**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TESISTAS : BACH. BAUTISTA EULOGIO, ADINA ELIAB
: BACH. ROMERO REQUELMO, EUGENIO FAUSTO

ASESOR : MG. ESTACIO LAGUNA, ROGER

**HUÁNUCO – PERÚ
2020**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN.....	7
SUMMARY	8
I. INTRODUCCIÓN	9
II. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Fundamentación teórica	11
2.1.1. Generalidades del fritado a vacío	11
2.1.2. Generalidades de los prototipos de fritura al vacío	11
2.1.3. Generalidades de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	13
2.1.4. Generalidades de la acrilamida	15
2.2. Antecedente	18
2.3. Hipótesis	20
2.3.1. Hipótesis gene	20
2.3.2. Hipótesis especí	20
2.4. Variables y Operacionalización	21
2.4.1. Variable independien	21
2.4.2. Variable dependie	21
2.4.3. Variable intervini	21
2.4.4. Operacionalización de variabl	21
3.1. Tipo y nivel de investiga	24
3.2. Lugar de ejecució	24
3.3. Población, muestra y unidad de análisis	24
3.4. Tratamientos en estudi	25
3.5. Prueba de hipótes	25
3.5.1. Diseño de la investigació	26
3.5.1.1. Datos registra	27
3.5.1.2. Técnicas e instrumentos de recolección	27

3.6.	Materiales y equipo	28
3.6.1.	Materia prim	28
3.6.2.	Materiale	28
3.6.3.	Reactivos	28
3.6.4.	Equipo	28
3.7.	Conducción de la investigació	29
3.7.1.	Determinacion de características tecnicas del prototipo	29
3.7.2.	Evaluación de la eficiencia del prototipo de fritura a vacío.....	30
3.7.3.	Evaluación del contenido de acrilamida	32
3.7.4.	Evaluación organoléptica.....	33
IV.	RESULTADOS	34
4.2.	Evaluación de la eficiencia	37
4.3.	De la acidez.....	38
4.4.	Evaluación del contenido de acrilamida	39
4.5.	Evaluación sensorial	42
V.	DISCUSIÓN	44
5.1.	Caracterización del prototipo de fritura de vacío y la eficiencia	44
5.2.	Evaluación de la acidez	44
5.3.	Evaluación del contenido de la acrilamida	45
5.4.	Evaluación sensorial	46
VI.	CONCLUSIONES.....	47
VII.	RECOMENDACIONES	48
VIII.	LITERATURA CITADA.....	49
	ANEXO 1. DATOS ESTADISTICOS DE LA ACRILAMIDA	52
	ANEXO 2. FICHA DE ANALISIS SENSORIAL.....	54
	ANEXO 3. BASE DE DATOS DE ANÁLISIS SENSORIAL.....	56
	ANEXO 4. PANEL FOTOGRÁFICO.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. prototipo de freidora a vacío.....	13
Figura 2. Molécula de acrilamida.....	15
Figura 3. Formación de acrilamida.....	16
Figura 4. Conducción de la investigación.....	29
Figura 5. Flujograma de operaciones para la obtención de papa frita.....	30
Figura 6. Recipiente para fritado.....	34
Figura 7. Hornilla a gas.....	35
Figura 8. Termómetro.....	35
Figura 9. Bomba de vacío.....	35
Figura 10. Condensador.....	36
Figura 11. Prototipo freidor a vacío.....	37
Figura 12. Superficie de respuesta respecto a la acrilamida.....	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de acrilamida en diferentes grupos de alimentos.....	17
Tabla 2. Operacionalización de variables.....	22
Tabla 3. Tratamientos del trabajo de investigación.....	25
Tabla 4. Análisis de factores individuales.....	36
Tabla 5. Eficiencia (cantidad / tiempo).....	38
Tabla 6. Análisis de factores individuales.....	38
Tabla 7. Análisis estadístico de % de acidez.....	39
Tabla 8. Análisis estadístico del contenido de acrilamida.....	40
Tabla 9. Contenido de acrilamida bajo los criterios RSM.....	41
Tabla 10. Análisis sensorial de hojuelas de papa frita.....	43

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a Dios por ser la fuente de vida y sabiduría, a quien le he dejado en sus manos mis preocupaciones y mis logros para que sea él quien dirija mi camino.

A mis padres por guiarme siempre por el buen camino y por todos los esfuerzos brindados para culminar esta etapa, a mis hermanos y amigos por estar siempre apoyándome y dándome aliento moral.

Los autores.

AGRADECIMIENTO

A Dios, porque es tan justo y está con cada uno de nosotros en todo momento de nuestras vidas.

A nuestros padres por el invaluable apoyo que siempre nos brindan.

Al Mg. Roger Estacio Laguna por su asesoramiento y apoyo para el desarrollo y ejecución de la tesis.

A los docentes de la E.P. de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán, por brindarnos sus consejos, enseñanzas y dedicación incondicional.

Los autores.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación se centró en desarrollar un prototipo de fritura de vacío compuesto por un recipiente de fritado, de una fuente de calentamiento a gas propano, una bomba de vacío y un sistema de condensación, para obtener papas fritas con bajo contenido de acrilamida a partir de papas de la variedad Canchan, evaluándose parámetros de presión de vacío (5, 10 y 15 kPa) y temperatura (110, 120 y 130 °C), procesado con un diseño factorial de 3^2 y un tratamiento testigo a 125 °C a condiciones normales. Se determinó que las condiciones de vacío y temperatura evitaron la formación de acrilamida, en todos los tratamientos siendo, solamente el tratamiento testigo que alcanzó un contenido de acrilamida de $5560,86 \pm 1435,23$ ng/g. La metodología para evaluar el contenido de acrilamida fue establecida bajo la técnica por cromatografía líquida de alta performance. Por otro lado, se evaluó la eficiencia del equipo en función de unidad de masa por tiempo (g/s), notándose que frente al tratamiento testigo T_0 sometido a 2.5 minutos de fritado, el prototipo lo superó ampliamente en 1 minuto de fritado para todos tratamientos sometidos a vacío de 110, 120 y 130 °C. En cuanto a la evaluación sensorial el tratamiento que mayor aceptación tuvo con respecto al color, olor, sabor y textura fue el T_2 de presión de vacío = 10 kPa a una temperatura de 110 °C.

Palabras claves: almidón, cocción, presión de vacío.

SUMMARY

The objective of this research focused on developing a prototype of vacuum frying composed of a frying container, a propane gas-heating source, a vacuum pump and a condensation system, to obtain fries with a low acrylamide content. from potatoes of the Canchan variety, evaluating vacuum pressure parameters (5, 10 and 15 kPa) and temperature (110, 120 and 130 ° C), processed with a factorial design of 3^2 and a control treatment at 125 ° C under normal conditions. It was determined that the vacuum and temperature conditions prevented the formation of acrylamide, in all the treatments, with only the control treatment reaching an acrylamide content of 5560.86 ± 1435.23 ng / g. The methodology to evaluate the acrylamide content was established under the technique of high performance liquid chromatography. On the other hand, the efficiency of the equipment was evaluated as a function of unit mass per time (g / s), noting that compared to the control treatment T_0 subjected to 2.5 minutes of frying, the prototype widely exceeded it in 1 minute of frying for all treatments subjected to vacuum of 110, 120 and 130 ° C. Regarding the sensory evaluation, the treatment that had the highest acceptance with respect to color, odor, taste and texture was the vacuum pressure $T_2 = 10$ kPa at a temperature of 110 ° C.

Keywords: starch, cooking, vacuum pressure.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una producción de snacks fritos que no evalúan el contenido de acrilamida, y con la fritura a vacío a temperaturas bajas se disminuyen los riesgos y la pérdida de nutrientes. La fritura al vacío es una gran opción para la salud del consumidor, debido a la gran preocupación de las causas y consecuencias que catalogan a la acrilamida como un “probable carcinógeno para los humanos” y los efectos tóxicos a la salud.

En nuestro país las producciones de snacks fritos actualmente se realizan en tinas de acero en inmersión de aceite vegetal, los que se calientan en su mayoría con gas propano y en menor proporción con resistencias eléctricas, los mismos que se realizan a temperaturas superiores a los 100°C, y que según la OMS & FAO (2002), en estudios realizados en Suecia demostraron por primera vez que a temperaturas superiores a 120 °C se produce la formación de acrilamida durante la fritura o el horneado de patatas y productos a base de cereales, siendo un hecho que preocupa a la salud pública; alegando de ser causante de enfermedades cancerígenas por su consumo.

La formación de acrilamida en los alimentos involucra al aminoácido asparragina y a azúcares reductores, los cuales mediante la reacción de Maillard dan como resultado el mencionado compuesto, denominado actualmente como un contaminante del proceso o un contaminante neo formado. (Uliate *et al*, 2016)

Es necesario plantear una solución en el proceso de fritado de estos productos, por lo que, la fritura al vacío permite mejorar la calidad de los alimentos debido a las menores temperaturas y baja exposición del aceite al oxígeno (Torres *et al*, 2017).

En la región Huánuco se desconoce la existencia de tecnologías para freír a vacío, con la capacidad de reducir la formación de acrilamida en alimentos fritos. El diseño y construcción del prototipo de fritura a vacío solucionará este problema, dado que su principal efecto sería disminuir la temperatura en la ebullición y lograr una mejor cocción, pudiéndose aplicar en la obtención de papa frita, siendo una ventaja para la salud del consumidor.

Ahora bien, los procesos de fritado en primer lugar han determinado que las temperaturas superiores a 120 °C en el aceite vegetal forman acrilamida, y es por eso que se recomienda fritar por debajo de la temperatura de referencia, y

única manera de lograrlo es modificando la atmósfera en condiciones de vacío, además que, utilizar menores temperaturas aseguraría la mejor conservación de los nutrientes de las materias primas destinados a la industria de los snacks. Es así que, la investigación planteó los siguientes objetivos:

Caracterizar técnicamente los componentes del prototipo de fritura a vacío para obtener papa frita.

Determinar la eficiencia relacionada a la cantidad producida por unidad de tiempo del prototipo de fritura a vacío en la obtención de papa frita frente a un proceso convencional.

Evaluar el contenido de acrilamida en la obtención de papa frita utilizando el prototipo de fritura a vacío.

Evaluar las características organolépticas de la papa frita utilizando el prototipo de fritura a vacío.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentación teórica

2.1.1. Generalidades del fritado a vacío

Gómez & Segura (2019), mencionan que la fritura al vacío se ha utilizado para controlar la temperatura por debajo del proceso convencional, parámetro que, de acuerdo a la mayoría de los autores, sumado al contenido de azúcares reductores y aminoácidos libres son los factores más críticos en la formación de acrilamida.

Pandey & Moreira (2012), afirman que la fritura al vacío es un proceso que se realiza a bajas presiones muy por debajo de los niveles atmosféricos, a una presión absoluta de 6,65 kPa (50 Torr), asegurando el punto de ebullición del agua a temperaturas bajas, por lo tanto, se puede operar a temperaturas menores a 100 °C y conseguir productos crocantes, bajos en aceite y con una buena apariencia en color.

Mariscal & Bouchon (2008), mencionan que, la fritura al vacío es una buena opción a la fritura convencional, podemos conseguir snacks más saludables, con un menor contenido de aceite y atributos de calidad deseables. Por otro lado, ha demostrado ventajas cómo: la reducción del contenido de aceite en el producto frito, preservación del color, sabor y aroma, reducción de los efectos adversos en la calidad del aceite y posiblemente, disminuir el contenido de acrilamida en papas fritas. En general, todos los beneficios asociados al proceso, derivan principalmente de las bajas temperaturas empleadas y la mínima exposición al oxígeno.

2.1.2. Generalidades de los prototipos de fritura al vacío

Maner (1997), manifiesta que un prototipo se define como, un modelo (representación, demostración o simulación) fácilmente ampliable y modificable de un sistema planificado, probablemente incluyendo su interfaz y su funcionalidad de entradas y salidas. Que se sustenta en las dimensiones de ejecutabilidad (¿será operativo el prototipo y de ser así qué significará esto?, maduración (¿se mejorará el prototipo por etapas y, de ser así, se convertirá en el producto final?, representación (¿qué nivel de fidelidad alcanzará el

prototipo?) y la perspectiva (¿se limitará el prototipo a áreas específicas de funcionalidad?).

Según Quesada (2012), menciona en su patente de freidora de vacío de sistema continuo, tiene forma de túnel que se extiende horizontalmente en un trayecto que se encuentra por encima de los puntos de entrada y salida, de modo que por diferencia de nivel de aceite, el ducto cuenta en la parte superior con una bomba de vacío a fin de extraer los vapores producidos durante el freimiento. Un conducto auxiliar conecta los sifones de entrada y salida por su parte inferior a fin de mantener nivelado el aceite. El aceite se calienta mediante fuentes de calor a través de las paredes del ducto. A fin de proteger el producto a freír, este puede opcionalmente transportarse dentro de canastas cerradas. A fin de mover el producto a través de la freidora se puede instalar un sistema de tornillo sin fin, una banda transportadora o un sistema de bombeo que transporte el producto por arrastre.

Según Portilla (2014), implementó un sistema control automatizado para una freidora de vacío, que constó de componentes como: una olla, un contenedor para la olla donde se da el vacío que lleva además la resistencia eléctrica, una tapa con eje que sostiene una canastilla y además se instala a un sistema centrífugo. Del cual se planteó el control automatizado para la temperatura, para el vacío y las revoluciones del sistema centrífugo. (Ver Figura 1).

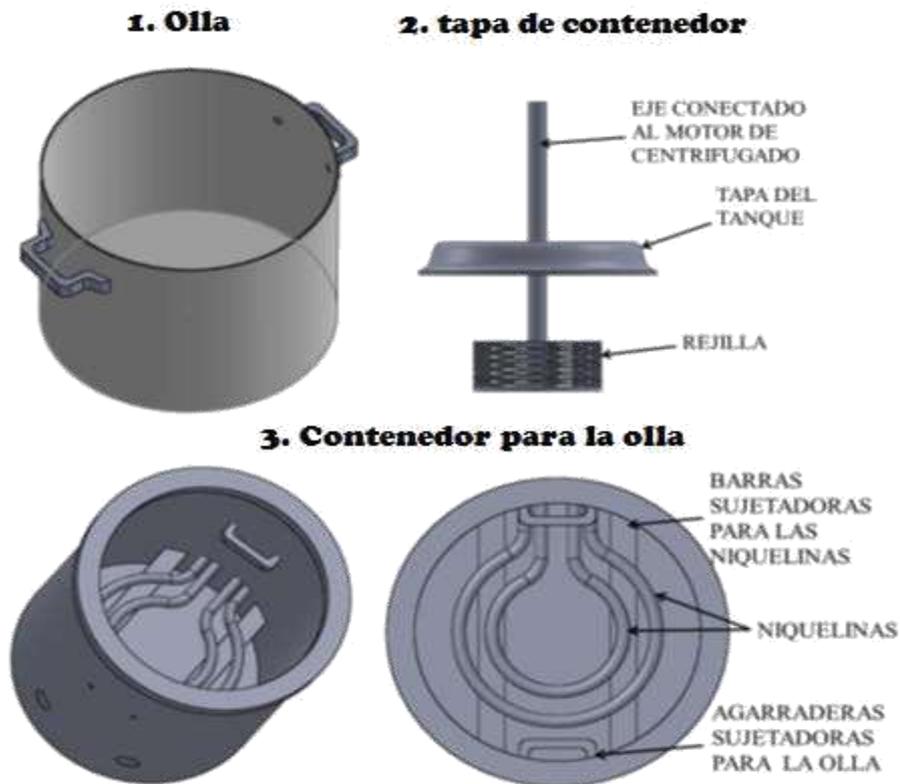


Figura 1. Prototipo de freidora a vacío.

Fuente: Portilla (2014).

2.1.3. Generalidades de la papa (*Solanum tuberosum*)

De acuerdo al estudio realizado por Nielsen (2014), se entrevistó a más de 30.000 consumidores online en 60 países para identificar cuáles son los snacks más populares alrededor del mundo los que arrojaron que, más de 4 de cada 10 encuestados consumieron queso (46%), papas fritas (44%) y frutas secas (41%). Pudiendo notarse que en la zona de Latinoamérica existe un crecimiento anual del 9%.

Por otro lado, el Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), comunicó que el consumo per cápita de papa ha tenido un crecimiento importante en los últimos años, pasando de 76 kilos per cápita anuales en el 2005 a 89 kilos per cápita anual en el 2016. (Gestión, 2016)

Las variedades más comunes en el mercado peruano son la papa canchán, papa tomasa, papa amarilla, papa huairo, papa tarmeña, papa huamantanga, papa negra, papa peruanita, papa perricholi, y papa

entre las más consumidas. (INEI, 2014)

La región andina al sur del Perú y la región colindante de Bolivia son el principal centro de domesticación de las diferentes especies de papas, constituyendo el alimento básico no solamente para cientos de miles de familias campesinas andinas, sino también para millones de personas en el mundo. Asimismo, las papas fueron domesticadas partiendo desde las especies silvestres, creándose nuevas especies mediante diferentes cruzamientos naturales o dirigidos, que permitieron la formación de numerosas variedades. (Fries & Tapia, 2007). La clasificación taxonómica, según Fernández (2011) es de la siguiente manera:

Reino : *Plantae*
División : *Magnoliophyta*
Clase : *Magnoliopsida*
Subclase : *Asteridae*
Orden : *Solanales*
Familia : *Solanaceae*
Género : *Solanum*
Especie : *Solanum tuberosum*

Huánuco produce las variedades de papa: Amarilla, Canchán, Yungay, Negra Andina, Huayro, Huamantanga, Perricholi y se ofertan en los mercados mayoristas de San Pablo, de Puelles y el mercado de la selva peruana. En esta región, las zonas productoras de papa son las provincias de Huánuco, Huamalíes, Ambo y Pachitea, cuya producción abastece a los mercados de Lima y de la Selva del país. En el caso de la papa Canchán, ésta se distribuye a los mercados de Tingo María, Pucallpa e Iquitos; mientras que las cosechas de papa Yungay y Amarilla se dirigen a Lima. En lo que va del año, los precios mayoristas de la papa Canchán, Yungay, Amarilla y Huayro disminuyeron en 37%, 63%, 42% y 43% respectivamente. La baja en los precios inició en marzo (mes de inicio del periodo de mayor cosecha en la región). Según el calendario de siembras

y cosechas del MINAGRI, entre marzo y mayo se cosecha el 43,6% de la producción total de la región. (MINAGRI, 2017).

En junio de 2017, la producción de papa totalizó 35 mil 914 toneladas, volumen que superó en 50,1%, a lo obtenido en junio 2016, como resultado de las mayores áreas de cultivo y cosechas. (INEI, 2017).

2.1.4. Generalidades de la acrilamida

La acrilamida es un sólido cristalino incoloro, inodoro y soluble en agua. Este compuesto se obtiene por la hidratación catalítica del acetonitrilo, siendo utilizado, como floculante en la clarificación de agua, en la fabricación de pegamentos, estabilizante de suelo, etc. Es una amida insaturada muy reactiva, ya que contiene un doble enlace activado, y se usa para sintetizar poliacrilamida (Figura 2). La acrilamida es estable a temperatura ambiente, pero polimeriza a más del 84.5 °C como referencia de su punto de fusión o también por la exposición de la radiación ultravioleta. Su punto de ebullición es de 136°C (Muñoz, 2015).

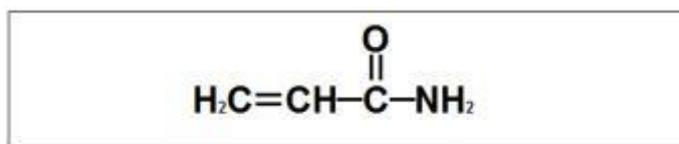


Figura 2. Molécula de Acrilamida

Fuente: Mottram *et al.* (2002).

2.1.4.1. Mecanismo de formación de acrilamida en Alimentos

Masson *et al.*, (2007) han confirmado que, la mejor vía de síntesis para la obtención de acrilamida es la reacción de Maillard, entre aminoácidos y azúcares reductores, siendo la asparragina, el principal aminoácido libre presente en papas (*Solanum tuberosum*) y cereales. El calentamiento de cantidades equimolares de asparragina y glucosa a 180 °C por 30 minutos producen 368 µmol de acrilamida por mol de asparragina.

Se conocen tres posibles maneras de formación de acrilamida: Formación a través de acroleína debido al amoníaco liberado en el alimento, formación por deshidratación / descarboxilación de algunos ácidos orgánicos y formación directa por los aminoácidos (Garzón, 2014).

La formación de la acrilamida es termo-dependiente, puesto que numerosos estudios demuestran que se necesitan temperaturas sobre los 120°C para su generación” (Muñoz, 2015).

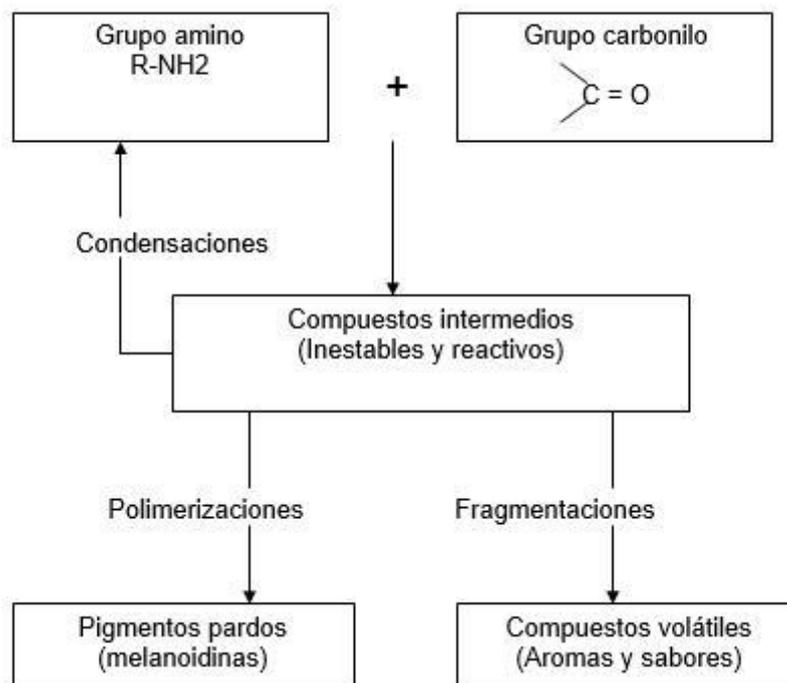


Figura 3. Formación de acrilamida a partir de proteínas más azúcares reductores.

Fuente: Díaz de Santos (1999).

Los valores elevados de acrilamida se dan principalmente en aquellos alimentos que incorporan almidón en su composición y han sido sometidos a un tratamiento térmico a altas temperaturas. La temperatura óptima de formación es entorno a los 180°C, aunque a partir de los 120°C se favorece su formación (Zepeda, 2018).

La base de Schiff puede experimentar una ciclación intramolecular resultando la oxazolidina-5-1-derivado, si este último compuesto se decarboxila, se obtiene el compuesto de Amadori decarboxilado, el que puede sufrir -eliminación resultando finalmente una molécula de acrilamida y un amino azúcar (Masson *et al.*, 2007)

En el año 2002 en un encuentro cerrado de un comité de la Organización Mundial de la Salud (OMS) se examinaron el hallazgo significativo de 16

niveles de acrilamida en vegetales cocidos cocinados. La atención que recibió este descubrimiento se debe al hecho que la acrilamida es una potente toxina y puede afectar la salud reproductiva masculina, además de causar malformaciones congénitas en el humano y cáncer (OMS & FAO, 2002). Según estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 5 países, Noruega, Suecia, suiza, Reino Unido y Estados Unidos, en el año 2002, se determinaron los niveles de acrilamida en diferentes alimentos y grupos de estos, como se muestra en la Tabla 1 (Zepeda, 2018).

Tabla 1. Niveles de acrilamida en diferentes grupos de alimentos.

Alimentos Grupo de Producto	Niveles de acrilamida ($\mu\text{g}/\text{kg}$)		
	Media	Mediana	Mínimo - Máximo
Papas/fritas	1312	1343	170-2287
Chips /papas en bolsa	537	330	<50-3500
Productos de repostería	112	<50	<50-450
Galletas, tostadas	423	142	<30-3200
Pan blanco	50	30	<30-162
Chocolate en polvo	75	75	<50-100
Café en polvo	200	200	170-230
Cerveza	<30	<30	<30
Frijol	<45	<45	<45
Bebida de cola	85	85	<30-130

Fuente: OMS & FAO (2002)

2.2. Antecedentes

Según Uliate *et al* (2016), en su trabajo de revisión de investigaciones titulado: Formación de acrilamida durante el procesamiento de alimentos, manifiestan que, la formación de acrilamida en los alimentos involucra al aminoácido asparragina y a azúcares reductores, los cuales mediante la reacción de Maillard dan como resultado el mencionado compuesto, denominado actualmente como un contaminante del proceso o un contaminante neo formado. La investigación explicó el por qué se da la presencia de acrilamida en los alimentos, así como el desarrollo de protocolos y tecnologías para la detección de la acrilamida en alimentos y la tercera fueron las medidas para mitigar la aparición de acrilamida en sustratos alimenticios.

Torres *et al* (2017) menciona en su investigación titulada: Efectos de la fritura al vacío en los atributos de calidad de arepa con huevo que, la fritura al vacío permite mejorar la calidad de los alimentos debido a las menores temperaturas y baja exposición del aceite al oxígeno. El objetivo del estudio fue analizar el efecto del freído al vacío sobre la calidad de arepas con huevo. Se realizaron tres formulaciones con incorporación de pasta de ajonjolí. El freído fue a 120 °C, 130 °C y 140 °C, 30 kPa y 5 min. Se utilizó un diseño experimental factorial 3X2. Los contenidos de humedad y luminosidad disminuyeron con el aumento de la temperatura. El aceite aumentó con la adición de pasta. La deseabilidad máxima fue 0,74 a 133,5 °C y 63,4 % de pasta. Las respuestas fueron: humedad (30,78 %), aceite (26,65 %), ΔE (22,74), luminosidad (52,41), color (4,24), olor (4,33), sabor (4,64) y dureza (4,45). La fritura al vacío es una tecnología alternativa para obtener arepas con huevo de buena calidad y aceptabilidad.

Villamizar *et al*, (2012) al investigar el efecto del proceso de fritura a vacío sobre la calidad de un pasabocas de mango (*Manguifera indica* L.), manifestó que, El consumo cada vez más creciente de pasabocas ha estimulado la búsqueda de procesos para mejorar su calidad. En este estudio se evaluó el comportamiento de los parámetros de calidad de un pasabocas frito hecho con mango (*Manguifera indica* L.), utilizando vacío sobre una pasta elaborada con ese fruto. El proceso de fritura se realizó aplicando diferentes presiones de vacío (0,4; 0,5; 0,6 bar), temperaturas

(100, 110 y 120 °C) y tiempos (30, 45, 60, 75 y 90 segundos). Los resultados mostraron que el vacío mejora las características de calidad del producto ya que los contenidos de grasa y humedad fueron muy bajos, la actividad de agua fue menor, la textura fue adecuada para las exigencias del mercado y el color presentó cambios muy pequeños en relación con los de la pasta. El mejor tratamiento fue 0,5 bar de presión, 110 °C de temperatura y 90 segundos de inmersión.

Acosta (2008) menciona en su investigación titulada: Reducción del contenido de acrilamida en papas chips mediante empleo de pretratamiento y fritura, en donde, disminuyeron y modificaron los precursores (azúcares directamente reductores y asparragina libre) mediante el lavado y un escaldado a 90°C, seguido de una inmersión en ácido cítrico al 0,25%. Además, se empleó fritura a presión reducida (48 mm Hg absolutos) con el fin de bajar las temperaturas de fritura (150°C, 160°C y 170°C) y disminuir los tiempos de proceso, lográndose disminuir significativamente el contenido de precursores de la formación de acrilamida en las papas chips. Muñoz (2007) menciona en su investigación titulada: Reducción del contenido de acrilamida en hojuelas de papas fritas por aplicación de pretratamientos y diferentes temperaturas de fritura, donde, se estudió la influencia de los pretratamientos de escaldado y acidificación a través de inmersión en solución de ácido cítrico y el efecto de la temperatura de fritura a presión atmosférica sobre el contenido de acrilamida en hojuelas de papas fritas, los pretratamientos influyeron significativamente en la reducción del contenido de acrilamida en las hojuelas de papas fritas, notándose que, el consumo de asparragina en la reacción de Maillard aumentó al incrementarse la temperatura de fritura, por lo que la temperatura de fritura fue el factor físico más importante en la formación de acrilamida. Muñoz (2015), en su investigación: Mitigación de la formación de acrilamida en hojuelas de papas mediante el uso de fritura al vacío, estudió el efecto de la fritura al vacío sobre la formación de acrilamida en hojuelas de papas y su influencia en el contenido de aceite y textura. Se trabajó con el concepto de fuerza motriz térmica equivalente (FMTE) la cual permite una comparación efectiva entre los procesos de fritura atmosférica y fritura al

vacío, se emplearon fuerzas motrices de 50°C, 60°C y 70°C, donde la fritura al vacío empleó una presión de 3 pulgadas de Hg y temperaturas de aceite de 96°C, 106°C y 116°C respectivamente. Mientras que, para la fritura atmosférica las temperaturas de aceite fueron 150°C, 160°C y 170°C. Donde los resultados concluyeron que la fritura al vacío es un proceso efectivo en la mitigación de la acrilamida en hojuelas de papa.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

Las características de calidad de la papa frita mejorarán con el uso del prototipo de fritura a vacío.

2.3.2. Hipótesis específicos

Las características técnicas del prototipo de fritura al vacío podrán minimizar la formación de acrilamida en la obtención de papas fritas.

La eficiencia del prototipo de fritura a vacío será mejor que la fritura convencional en la obtención de papas fritas.

El contenido de acrilamida en la obtención de papas fritas utilizando el prototipo de fritura a vacío será una buena alternativa.

Las características organolépticas de la papa frita utilizando el prototipo freidor a vacío serán las mejores.

2.4. Variables y operacionalización de variables.

2.4.1. Variable independiente

X1= Presión de vacío

X2= Temperatura de fritado

2.4.2. Variable dependiente

Y1= Rendimiento de la papa frita en el prototipo

Y2= Eficiencia de la cantidad producida por unidades de tiempo del prototipo.

Y3= contenido de acrilamida.

Y4= Sabor, color y textura.

2.4.3. Variable interviniente

- Características técnicas del prototipo. (dimensiones del contenedor y capacidad de la bomba de vacío)
- Humedad inicial
- Volumen de aceite

2.4.4. Operacionalización de variables.

En la Tabla 2, se muestran la operacionalización de las variables para el estudio

Tabla 2: Operacionalización de variables.

DEFINICION DEL VARIABLE

INDICADORES

Variables independientes.

X₁= presión de vacío

X₁= Presión absoluta

X_{1,1}= 5 kPa

X_{1,2}= 10 kPa

X_{1,3}= 15 kPa

X_{1,4}= testigo (olla abierta)

X₂= Temperatura

X₂= Temperatura de aceite

X_{2,1}= 110 °C

X_{2,2}= 120 °C

X_{2,3}= 130 °C

X_{2,4}= testigo (120°C)

Variables dependientes.

Y₁= Eficiencia

Y₂= Acidez.

Y₃= Contenido de acrilamida.

Y₄= Sabor, color y textura.

Y₁ = Eficiencia

Y_{1,1}= g de papa frita/minuto

Y₂ = Acidez

Y_{2,1}= % expresado en ácido oleico

Y₃= Contenido de acrilamida

Y_{3,1}= mg de acrilamida/ 100g. de papa frita

Y₄= Sabor, color y textura

Y₄₁ = Sabor

Y₄₂ = color

Y₄₃ = textura

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Tipo y nivel de investigación

De acuerdo al tipo de investigación pertenece a la investigación aplicada y de acuerdo al nivel pertenece a la investigación experimental.

3.2. Lugar de ejecución

Construcción del prototipo

El trabajo de construcción se realizó en la ciudad de Huánuco, con apoyo de personal técnico

Prueba experimental

Se realizó en las instalaciones de los laboratorios de Procesos Agroindustriales No alimentarios y Análisis por Instrumentación de la carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial en la provincia de Huánuco, en el departamento de Huánuco.

3.3. Población, muestra y unidad de análisis

Población. La población está conformada por las papas de la variedad canchan procedente del distrito de Panao de la provincia de Pachitea, de la región de Huánuco.

Muestra. Se trabajará con cargas 1 kg de papas por tratamiento, siendo un total de 10 tratamientos, por tres repeticiones para cada tratamiento evaluando el óptimo rendimiento del prototipo, incluido un testigo con fritura convencional.

3.4. Tratamientos en estudio

Los tratamientos en estudio fueron en total 10 incluyendo al testigo.

Tabla 3. Tratamientos del trabajo de investigación.

Tratamientos	Descripción del tratamiento
T ₁	Presión de vacío = 5 kPa a una temperatura de 110 °C
T ₂	Presión de vacío = 10 kPa a una temperatura de 110 °C
T ₃	Presión de vacío = 15 kPa a una temperatura de 110 °C
T ₄	Presión de vacío = 5 kPa a una temperatura de 120 °C
T ₅	Presión de vacío = 10 kPa a una temperatura de 120 °C
T ₆	Presión de vacío = 15 kPa a una temperatura de 120 °C
T ₇	Presión de vacío = 5 kPa a una temperatura de 130 °C
T ₈	Presión de vacío = 10 kPa a una temperatura de 130 °C
T ₉	Presión de vacío = 15 kPa a una temperatura de 130 °C
T ₀	Testigo: aceite a 125 °C a presión atmosférica ambiental

Se tuvo en cuenta para el caso del tratamiento testigo T₀, la temperatura de 125°C, debido a que, según Muñoz (2015) manifiesta que la formación de la acrilamida es termo-dependiente, y numerosos estudios demuestran que se necesitan temperaturas sobre los 120°C para su formación.

3.5. Prueba de hipótesis

Hipótesis nula

H₀: No existen diferencias entre los tratamientos en estudio relacionados al uso del prototipo de fritura a vacío con el proceso convencional con respecto al contenido de acrilamida en la obtención de papa frita. H₀: T₀ = T₁ = T₂ = T₃ = T₄ = T₅ = T₆ = T₇ = T₈ = T₉ = 0

Hipótesis Alternativa

H₁: Al menos uno de los tratamientos en estudio relacionados al uso del prototipo de fritura a vacío con el proceso convencional con respecto al contenido de acrilamida en la obtención de papa frita es diferente. H₁: Al menos $T_n \neq 0$

3.5.1. Diseño de la investigación

Se aplicó un diseño factorial de 3^2 en sus diferentes tratamientos ajustado a un modelo de superficie de respuesta (RSM) de optimización de procesos, para el caso de la medición de la acrilamida, tal como se expresa a continuación:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij} : Contenido de acrilamida encontrado en las papas fritas sometido al i-ésimo vacío y a la j-ésima temperatura.
- μ : Efecto de la media general.
- α_i : Efecto del i-ésimo nivel de vacío.
- β_j : Efecto del j-ésimo nivel de temperatura.
- $\alpha\beta_{ij}$: Efecto de la interacción del i-ésimo nivel de vacío y el j-ésimo nivel de temperatura.
- ϵ_{ij} : Error experimental.

Para la comparación de medias de tratamientos se utilizó la prueba de comparación TUKEY a los niveles de 0,05 de probabilidades que corresponde al 95%.

Asimismo, se aplicó el diseño factorial de 3^2 para las variables continuas como de eficiencia y acidez.

Para el caso de las variables discretas como el análisis organoléptico, se ajustaron a la evaluación de un panel semi-entrenado y se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman a un nivel de significación de $\alpha=5\%$.

3.5.1.1. Datos registrados

Se registró el resultado obtenido de los análisis del nivel de acrilamida, características organolépticas con respecto a la papa frita, y eficiencia del prototipo relacionado a la producción de papa frita.

3.5.1.2. Técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de la información.

La información se obtuvo mediante datos de fuentes secundarias y datos de fuentes primarias.

Para la obtención de datos de las fuentes secundarias, se utilizó la técnica de investigación documental o bibliográfica que sirvió de fuente para elaborar el marco teórico, los instrumentos de investigación y los antecedentes para la discusión.

Así mismo se utilizaron otros instrumentos como memorias USB, CDs, DVDs y otros medios de almacenamiento.

Por otro lado, para los datos de las fuentes primarias, se utilizó la técnica de la observación e investigación, permitiéndonos obtener información sobre los indicadores de las variables dependientes.

3.6. Materiales y equipos

3.6.1. Materia prima

Papas de la variedad canchan procedentes del distrito de Margos.

3.6.2. Materiales

- Planchas de acero inoxidable AISI 304-2B
- Bolsas plásticas de polipropileno para envasado
- Aceite vegetal de soja de la marca Tondero

3.6.3. Reactivos

- Alcohol de 96° (etanol de la marca Portugal)
- Hidróxido de sodio – Na (OH) del 95% de pureza de la marca Sigmaaldrich.
- Éter de petróleo de la marca sigmaaldrich.
- Agua destilada ozonizada
- Fenolftaleína para titulación de la marca Supelco

3.6.4. Equipos

- Bomba de vacío 3/4HP de la marca WEG de procedencia brasilera.
- Sistema de condensación piro tubular construido en acero inoxidable AISI 304-2B
- Cilindro de 5 L tipo olla de acero inoxidable AISI 316 y malla contenedora de acero inoxidable cromado de la marca Quality.
- Vacuometro de la marca Oerlikon
- Termómetro electrónico de -50°C a 150°C de la marca DIGITAL.
- Sistema de calentamiento de cocina a gas marca Camy.
- Balanza analítica de la marca: OAHUS de procedencia americana.
- Cromatógrafo líquido de alta performance (HPLC por sus siglas en inglés) con detector DAD, modelo: EPH34 marca: KNAUER, de procedencia alemana.

3.7. Conducción de la investigación

El presente trabajo de investigación, estuvo enfocado en diseño y construcción de un prototipo de fritura a vacío para la obtención de papa frita con bajo contenido de acrilamida, como se muestra en la Figura 4.

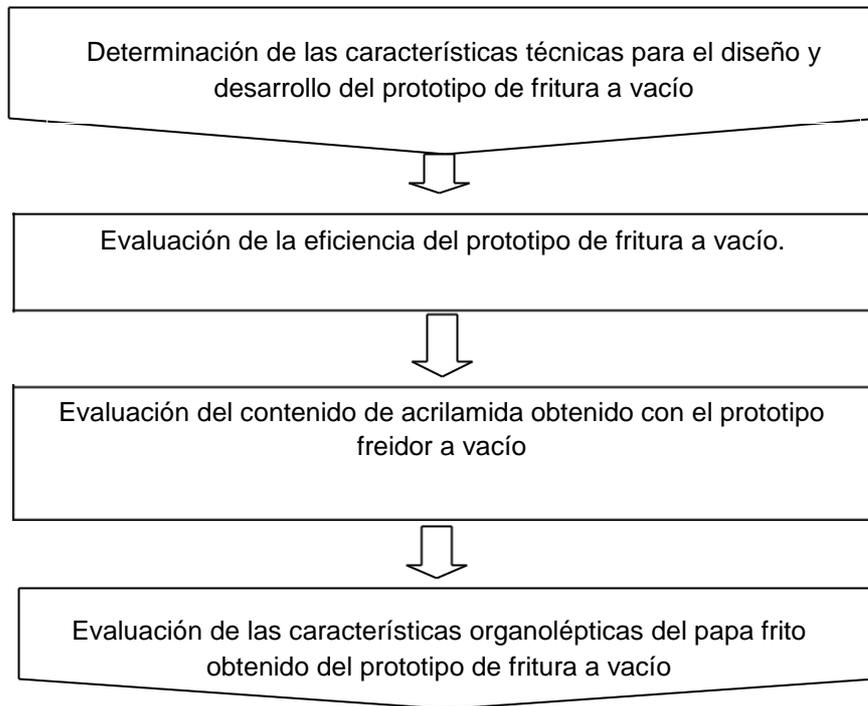


Figura 4. Conducción de la investigación

3.7.1. Determinación de las características técnicas del prototipo de fritura a vacío

Esta etapa consistió en identificar los componentes básicos para generar vacío en el cilindro de fritado, las partes se compusieron de: 01 cilindro contenedor de aceite, 01 contenedor tipo malla para el producto a freír, 01 tapa de contenedor con un termómetro incorporado 01 fuente de calor a gas con válvula regulable, 01 sistema de condensación y 01 sistema de vacío con un medidor tipo vacuometro.

3.7.2. Evaluación de la eficiencia del prototipo de fritura a vacío en el proceso de obtención de papa frita.

Esta etapa consistió en evaluar la eficiencia a partir de 80 g de muestra de los diferentes tratamientos por el tiempo de fritado de 1 minuto, haciendo una excepción para el tratamiento testigo de 2,5 minutos que demoró el fritado sin vacío, y se evaluaron siguiendo la secuencia de la Figura 5.

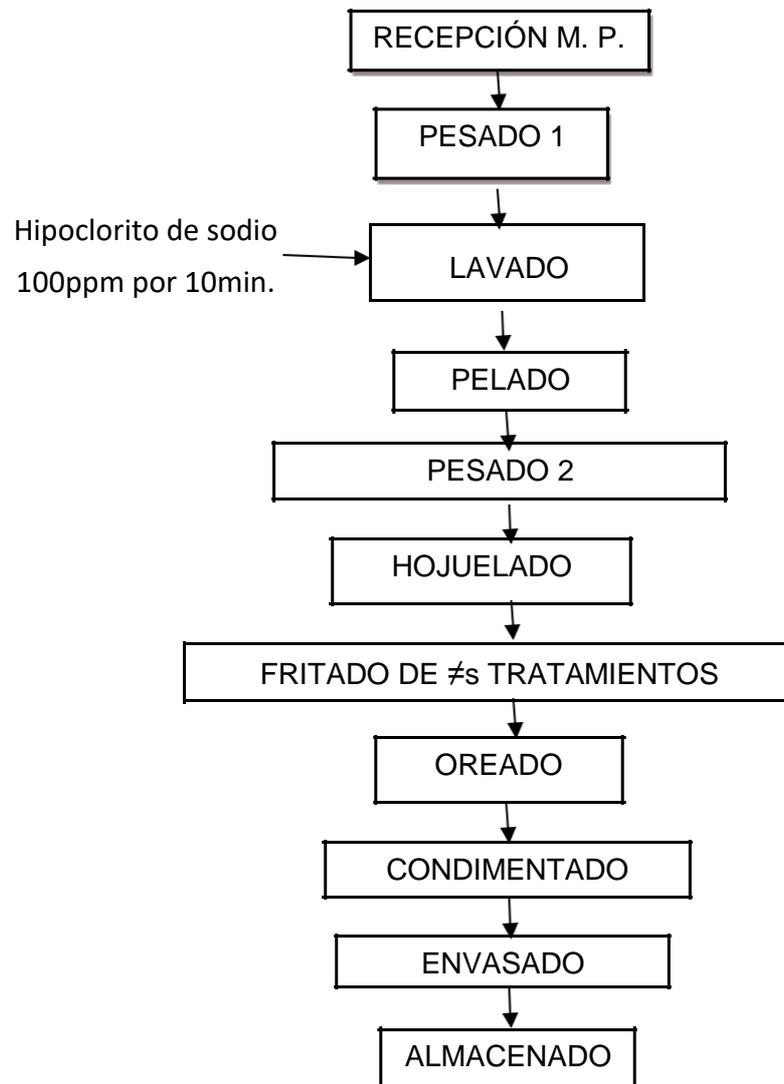


Figura 5. Flujograma de operaciones para la obtención de papa Frita.

Recepción de la materia prima: se recibió la papa variedad canchan teniendo en cuenta una clasificación uniforme.

Pesado 1: se pesó la papa canchan, lo cual nos permitió determinar el rendimiento, la que fue inspeccionada para iniciar rápidamente las operaciones de acondicionamiento.

Lavado / Desinfectado: la operación de lavado consistió en lavar con agua y luego sumergir en una tina de agua con hipoclorito de sodio a 100 ppm por un tiempo de 10 min. Una vez cumplido el tiempo se enjuagó con abundante agua.

Pelado: en esta etapa se retiró la cáscara con un cuchillo.

Pesado 2: se realizó el pesado de la papa canchan, lo que nos permitió determinar el rendimiento.

Hojuelado: Consistió en cortar en rodajas a la papa con un espesor que no sobrepase de los 2 mm.

Fritado: se realizó en el freidor de vacío el que alcanzó una presión de vacío de 5, 10 y 15 kPa, a temperaturas de por encima de los 110, 120 y 130 °C, por un tiempo fijo de 1 minuto. En el caso de la muestra testigo se realizó a 125°C por 2.5 minutos.

Oreado: una vez terminado la operación de fritado se dejó orear en papel toalla para quitar parte del aceite impregnado y enfriar para la siguiente operación.

Condimentado: se realizó con NaCl en polvo a una concentración máxima de 2 % en relación al peso de las hojuelas fritas de papa.

Envasado: la papa frita se envasó en bolsas de polipropileno de acuerdo a los rendimientos logrados.

Almacenamiento: el producto envasado se almacenó en condiciones ambientales adecuadas para conservar su calidad hasta el momento de los análisis respectivos.

3.7.3 Evaluación del contenido de acrilamida

Para la evaluación del contenido de acrilamida se adecuó la metodología desarrollada por Hernandez (2007) de su trabajo de investigación Implementación de una metodología analítica para la cuantificación de acrilamida en papas chips por HPLC (Cromatógrafo líquido de alta performance), como se muestra a continuación:

- Para la determinación de la acrilamida por éste método se utilizaron muestras secas acordes a la AOAC; en lo posible la muestra debe ser previamente desgrasado a peso constante entre 2 g – 5 g en el equipo SOXHLET a una temperatura de 38 °C por 4 horas y enfriadas posteriormente.
- Se pesa la muestra de 2 g y se rotula.
- Luego se coloca en los tubos falcon con falda y se rotuló.
- Se agrega agua ozonizada a razón de 20 mL por cada muestra.
- Se deja macerar por un espacio aproximado de 8 horas
- Utilizando el micro pipetas y puntas por cada muestra se coloca en micro tubos con tapa debidamente rotulado.
- Se lleva a la centrifugación a una velocidad de 10000 rpm/s por espacio de 10 minutos.
- Utilizando la jeringa y filtro por cada muestra se realiza el filtrado en los viales de color ámbar con tapa debidamente rotulado.
- Se colocó en el cromatógrafo de líquidos de alta performance de la marca AZURA con un tipo de detector de arreglos de diodo - DAD y se leyó a 210 nm, siendo su fase móvil el agua ultra pura a un flujo de 0.6 mL/min a 32 C°.
- La lectura se realizó automáticamente por cada muestra y códigos interpretación de gráficas, los cuales se almacenaron en formato digital.

3.7.4. Evaluación organoléptica

En esta etapa de evaluación se realizó los análisis sensoriales a la papa frita con 15 panelistas semi-entrenados aplicando una escala hedónica (ver anexo 2). Los panelistas fueron estudiantes del cuarto año 2019 de la carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial (Hernández, 2005).

4.1. Caracterización técnica del freidor de vacío

El desarrollo del prototipo de fritura al vacío, estuvo conformado por 4 partes básicas que a continuación detallamos.

4.1.1. El recipiente de fritado

Se adaptó un recipiente de fritado que fue una olla de acero inoxidable de 5 litros (ver Figura 6) y alcanzó una capacidad de 2 litros de aceite para freír, la tapa estuvo acondicionada con una salida de tubería para que, el proceso de succión pueda generar el vacío los que se controlaron con un medidor de presión de vacío (vacuometro) tipo reloj análogo.

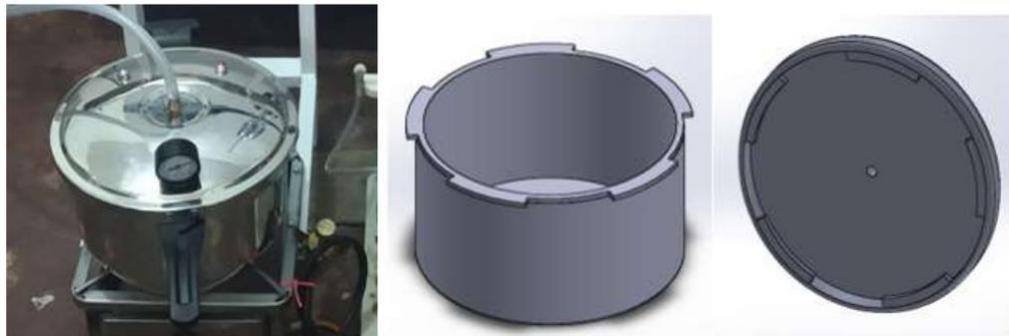


Figura 6. Recipiente de fritado

4.1.2. Fuente de calentamiento

Para la fuente de calentamiento se utilizó una cocina a gas propano con quemador tipo industrial de 4 pulgadas de diámetro de la marca surge (ver Figura 7), el que lleva una válvula tipo perilla para regular el flujo de la flama, que su vez se relacionó con la medición de temperatura con un termómetro digital de espiga de acero inoxidable (ver Figura 8) que se situó en la tapa de la olla de acero inoxidable.



Figura 7. Hornilla a gas.



Figura 8. Termómetro

4.1.3. Sistema de vacío

La bomba de vacío que se utilizó y además es el más comercial en el mercado, es la bomba de vacío de anillo líquido tipo NASH, de consumo energético de 0,75 kW de la marca WEG, el que está diseñado para trabajo continuo (ver Figura 9). Además, tiene un cilindro de plástico con una trampa para retener los líquidos presentes del proceso de condensación, evitando su ingreso a la bomba de vacío.

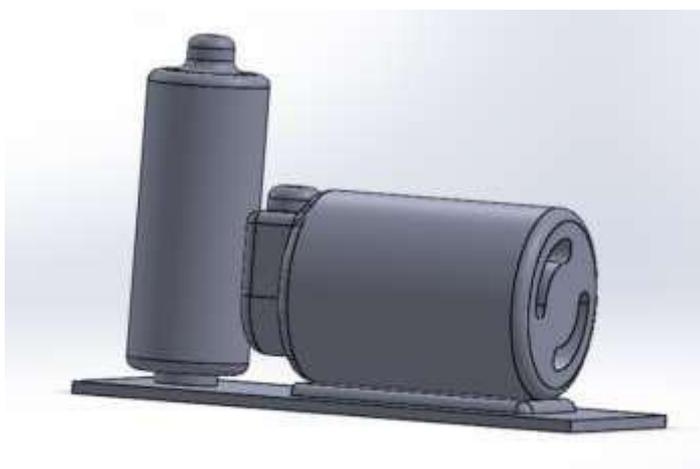


Figura 9. Bomba de Vacío

4.1.4. Condensador

El prototipo lleva un sistema condensador con un diseño pirotubular que se construyó con un tubo de acero inoxidable AISI 304-2B de 3 pulgadas de diámetro en donde fluyó el agua fría de la red pública, la que se puede apreciar en la parte externa (ver Figura 10), y conteniendo en su interior para el intercambio de calor 5 tubos de acero inoxidable AISI 304-2B de 1/4 pulgada de diámetro los que sirvieron para condensar los vapores expulsados del recipiente al momento de freír y no llegue a la bomba de vacío de manera directa, para no afectar su funcionamiento.



Figura 10. Condensador

El prototipo de freidor de vacío terminado finalmente quedó compuesto de: 01 recipiente de fritado (A), 01 fuente de calentamiento (B), 01 sistema de vacío (C), y 01 sistema de condensación (D), como se puede apreciar en la Figura 11.



Figura 11. Prototipo freidor a Vacío

4.2. Evaluación de la eficiencia

Se pudo determinar las condiciones de trabajo en función a las muestras de papa en hojuelas fritas, las que fueron realizadas para todos los tratamientos por un tiempo de fritado de 1 minuto con muestras de ingreso de 80 g de papa de la variedad Canchan, mostrándose el resultado de eficiencia (gramos por minuto) por cada factor como se aprecia en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de factores individuales

Vacío	Eficiencia *	Temperatura	Eficiencia *
a ₁	28,66 ± 0,28 ^a	b ₁	29,17 ± 0,06 ^a
a ₂	28,28 ± 0,24 ^a	b ₂	28,36 ± 0,35 ^b
a ₃	28,84 ± 0,27 ^a	b ₃	28,26 ± 0,65 ^b

* Resultados expresados como promedio ± SD, n=3.

Por otro lado, se puede apreciar que existen diferencias significativas estadísticas en todos los tratamientos combinados de vacío y temperatura, destacando el T₁ con el mayor rendimiento en comparación con el testigo T₀ como se puede apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5. Eficiencia (cantidad / tiempo)

Tratamiento	Eficiencia (g/minuto)*
T ₀	11,65 ± 0,27 ^d
T ₁ (a ₁ b ₁)	30,10 ± 0,26 ^a
T ₂ (a ₂ b ₁)	27,73 ± 0,32 ^c
T ₃ (a ₃ b ₁)	29,67 ± 0,38 ^{ab}
T ₄ (a ₁ b ₂)	27,97 ± 0,78 ^c
T ₅ (a ₂ b ₂)	29,07 ± 0,67 ^{abc}
T ₆ (a ₃ b ₂)	28,04 ± 0,12 ^{bc}
T ₇ (a ₁ b ₃)	27,92 ± 0,73 ^c
T ₈ (a ₂ b ₃)	28,05 ± 0,79 ^{bc}
T ₉ (a ₃ b ₃)	28,80 ± 0,66 ^{abc}

* Resultados expresados como promedio ± SD, n=3

4.3. De la acidez

El análisis de varianza, muestra que existen diferencias significativas entre los factores, siendo el menor porcentaje de acidez el indicador comparativo, como se muestra en la Tabla 6:

Tabla 6. Análisis de factores individuales

Vacío	% de acidez *	Temperatura	% de acidez *
a ₁	0,04 ± 0,037 ^a	b ₁	0,06 ± 0,036 ^b
a ₂	0,04 ± 0,011 ^a	b ₂	0,05 ± 0,021 ^{ab}
a ₃	0,07 ± 0,011 ^b	b ₃	0,04 ± 0,012 ^a

* Resultados expresados en ácido oleico con promedio ± SD, n=3.

El análisis de varianza, muestra que existen diferencias significativas entre los factores combinados de vacío y temperatura, los mismos que se pueden apreciar que el tratamiento T₁, alcanzó el mayor porcentaje de ácido, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Análisis estadístico de % de acidez

Tratamiento	Acidez *
T ₀	0,034 ± 0,006 ^a
T ₁ (a ₁ b ₁)	0,110 ± 0,040 ^b
T ₂ (a ₂ b ₁)	0,040 ± 0,009 ^a
T ₃ (a ₃ b ₁)	0,050 ± 0,006 ^a
T ₄ (a ₁ b ₂)	0,060 ± 0,034 ^{ab}
T ₅ (a ₂ b ₂)	0,040 ± 0,013 ^a
T ₆ (a ₃ b ₂)	0,040 ± 0,012 ^a
T ₇ (a ₁ b ₃)	0,040 ± 0,011 ^a
T ₈ (a ₂ b ₃)	0,030 ± 0,006 ^a
T ₉ (a ₃ b ₃)	0,040 ± 0,018 ^a

* Resultados expresados como promedio ± SD, n=3.

4.4. Evaluación del contenido de acrilamida

De acuerdo a la aplicación del diseño multifactorial de 3² con superficie de respuesta, se realizó el análisis demostrándose que según el análisis de varianza no existen diferencias significativas en todos los tratamientos y combinaciones.

Se puede apreciar que no existen diferencias estadísticas en todos los tratamientos, sin embargo, en la prueba Tukey el tratamiento testigo T₀ es diferente estadísticamente en cuanto a la presencia de acrilamida, tal como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis estadístico del contenido de acrilamida

Tratamiento	Acrilamida (ng/g)*
T ₀	5560,86 ± 1435,23 ^a
T ₁ (a ₁ b ₁)	0,00 ^b
T ₂ (a ₂ b ₁)	0,00 ^b
T ₃ (a ₃ b ₁)	0,00 ^b
T ₄ (a ₁ b ₂)	0,00 ^b
T ₅ (a ₂ b ₂)	0,00 ^b
T ₆ (a ₃ b ₂)	0,00 ^b
T ₇ (a ₁ b ₃)	896.86 ± 1553,40 ^b
T ₈ (a ₂ b ₃)	855,30 ± 1481,42 ^b
T ₉ (a ₃ b ₃)	0,00 ^b

* Resultados expresados como promedio ± SD, n=3.

Por otro lado, en la Tabla 9, se muestran los resultados del procesamiento de datos con los criterios de optimización del modelo de superficie de respuesta (RSM).

Tabla 9. Contenido de acrilamida bajo los criterios de la superficie de respuesta.

Réplicas	Codificador	Codificador	Vacío	Temperatura	Acrilamida
	X1	X2	(kPa)	(°C)	(ng/g)
1	-1	-1	5	110	0
1	0	-1	10	110	0
1	1	-1	15	110	0
1	-1	0	5	120	0
1	0	0	10	120	0
1	1	0	15	120	0
1	-1	1	5	130	0
1	0	1	10	130	0
1	1	1	15	130	0
2	-1	-1	5	110	0
2	0	-1	10	110	0
2	1	-1	15	110	0
2	-1	0	5	120	0
2	0	0	10	120	0
2	1	0	15	120	0
2	-1	1	5	130	0
2	0	1	10	130	2565.90
2	1	1	15	130	0
3	-1	-1	5	110	0
3	0	-1	10	110	0
3	1	-1	15	110	0
3	-1	0	5	120	0
3	0	0	10	120	0
3	1	0	15	120	0
3	-1	1	5	130	2690.57
3	0	1	10	130	0
3	1	1	15	130	0

El resultado muestra efectivamente que no existen diferencias significativas entre la combinación de los tratamientos, y esto se puede apreciar en la Figura 12.

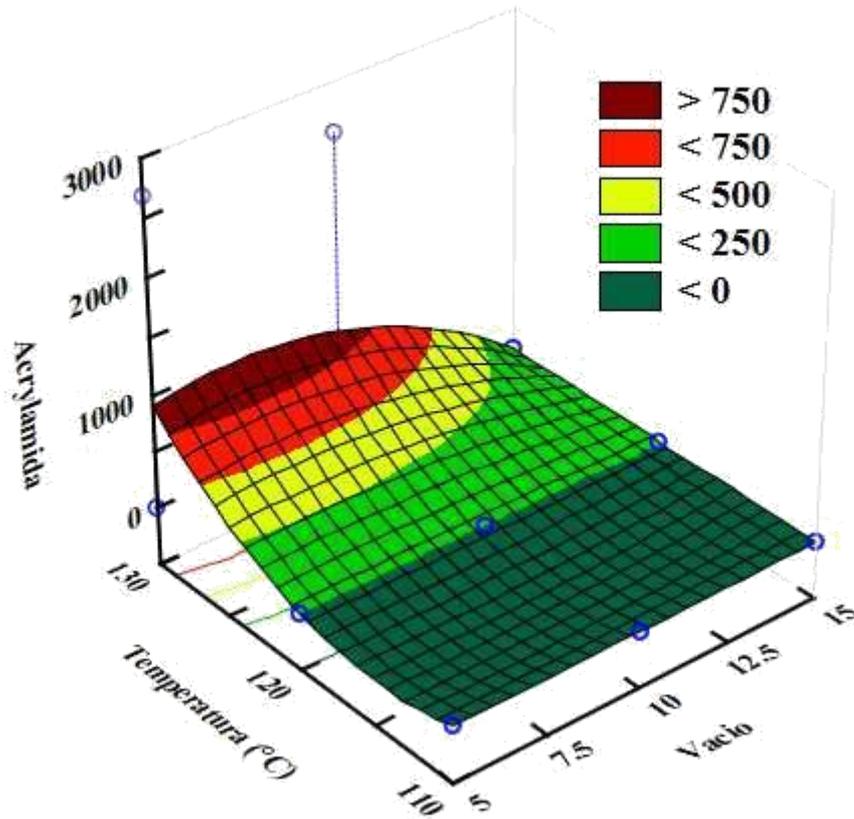


Figura 12. Superficie de respuesta respecto a la acrilamida.

4.5. Evaluación sensorial

Los resultados en cuanto a la evaluación sensorial realizado a 15 panelistas semientrenados, que fueron estudiantes del X ciclo de la carrera profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNHEVAL, para los tratamientos sometidos al proceso de fritado al vacío, presentaron diferencias significativas de los valores ranqueados, considerando un error de 0,05 entre los tratamientos interpretados de forma vertical con respecto a cada característica sensorial a una escala de evaluación de 1 a 7, siendo el tratamiento T_2 el que reportó el mayor puntaje en todo los aspectos, inclusive superando al tratamiento testigo T_0 , como se pueden apreciar en la Tabla 10.

Tabla 10. Análisis sensorial de hojuelas de papa frita

Tratamientos	Color *	Olor *	Sabor *	Textura *
T ₁	4,87 ± 0,74 ^{cd fgh}	4,80 ± 1,01 ^{ghij}	4,87 ± 0,99 ^{abc defghi}	4,73 ± 1,58 ^{ab}
T ₂	5,53 ± 0,99 ^a	5,53 ± 0,83 ^a	5,60 ± 1,12 ^a	5,47 ± 1,96 ^a
T ₃	4,87 ± 0,99 ^{bc defgh}	4,73 ± 0,80 ^{bc defgh}	4,60 ± 0,91 ^{fghi}	4,93 ± 1,28 ^{ab}
T ₄	4,87 ± 0,99 ^{abc defgh}	4,73 ± 0,80 ^{abc defgh}	4,47 ± 1,41 ^{defghi}	5,13 ± 1,41 ^{ab}
T ₅	4,33 ± 1,23 ^h	4,53 ± 1,19 ^{hij}	4,33 ± 1,23 ^{ghi}	5,00 ± 1,69 ^{ab}
T ₆	4,87 ± 1,06 ^{defgh}	4,93 ± 0,96 ^{bc defghi}	5,00 ± 1,00 ^{bc defghi}	4,87 ± 1,36 ^{ab}
T ₇	4,33 ± 1,45 ^{fgh}	4,67 ± 0,72 ^{fghij}	4,53 ± 1,13 ⁱ	4,87 ± 1,68 ^{ab}
T ₈	4,20 ± 1,47 ^{gh}	4,13 ± 0,99 ^j	4,53 ± 1,13 ^{efghi}	5,53 ± 1,06 ^{ab}
T ₉	4,73 ± 0,96 ^{efgh}	4,60 ± 0,74 ^{ij}	4,60 ± 0,91 ^{hi}	5,07 ± 0,70 ^{ab}
T ₀	5,07 ± 0,59 ^{abc defgh}	4,87 ± 0,83 ^{cd defghij}	4,53 ± 1,19 ^{cd defghij}	4,67 ± 1,29 ^b

* Resultados expresados como promedio ± SD, n=3.

V. DISCUSIÓN

5.1. Caracterización del prototipo de fritura de vacío y la eficiencia

El prototipo desarrollado cumple con los 5 componentes básicos para una fritura de vacío: 01 recipiente de fritado, 01 fuente de calentamiento, 01 sistema de vacío, y 01 sistema de condensación; ahora bien, Portilla (2014), al momento de automatizar su prototipo freidora de vacío, utilizó los siguientes componentes: una olla, un contenedor para la olla donde se da el vacío que lleva además la resistencia eléctrica, una tapa con eje que sostiene una canastilla y además se instala a un sistema centrífugo. Que como componentes similares a nuestro prototipo llevan una olla con su fuente de calor y su bomba de vacío, considerando que el sistema centrífugo, es un aditamento complementario, dado que es para ayudar a escurrir el aceite en los snacks. Nuestro prototipo alcanzó una presión de hasta 15 kPa, encontrándose dentro del rango citado por Pandey & Moreira (2012), donde menciona que la fritura al vacío es un proceso que se realiza a presiones por debajo del nivel atmosférico, preferiblemente debajo de 6,65 kPa. Por otra parte, las condiciones de vacío durante la fritura, puede inhibir reacciones de oxidación (Troncoso *et al*, 2009), esto debido a su baja temperatura de cocción, que evita la alteración de azúcares y almidones (Uliate *et al.*, 2016).

La fritura al vacío es una buena opción a la fritura convencional, ya que puede generar snacks más saludables, a base de frutas y hortalizas, con un menor contenido de aceite y atributos de calidad deseables (Mariscal & Bouchon, 2008). En la literatura, sólo algunos trabajos han sido encontrados en relación con este tema ya que la investigación en esta área está comenzando.

5.2. Evaluación de la acidez

Los reportes de la investigación en la papa variedad canchan fueron valores de 0,030 a 0.110 % en todos los tratamientos incluyendo al testigo, que están relativamente por debajo de los autores citados, como Obregón & Repo (2013) manifiestan que, evaluaron cuatro variedades nativas de papa: amarilla runtus (*Solanum goniocalyx*), huayro (*Solanum chaucha*), peruanita (*Solanum goniocalyx* Juz. & Bukasov) y huamantanga (*Solanum*

andigena), resultando el contenido acidez total 0,13 a 0,28. Al respecto debemos tener en cuenta que fueron otras variedades las que se evaluaron. Por otro lado, Hernández (2014) obtuvo valores de acidez total en papa fresca y frita $0.214\% \pm 0.01$ y $0.786\% \pm 0.02$, respectivamente por lo que, la papa utilizada en nuestra investigación posee un comportamiento cercano a esta investigación

5.3. Evaluación del contenido de la acrilamida

La fritura al vacío ha demostrado ventajas en la reducción del contenido de aceite en el producto frito, preservación del color, sabor y aroma, reducción de los efectos adversos en la calidad del aceite y, disminuye el contenido de acrilamida en papas fritas. (Mariscal & Bouchon, 2008). Pudiendo afirmar que las condiciones de vacío en las frituras de papas si influye en la formación de acrilamida como reportamos en nuestra investigación, atribuyéndose a las bajas temperaturas empleadas y la mínima exposición al oxígeno, conseguidos con el prototipo; al respecto Torres *et al* (2017) menciona que, la fritura al vacío permite mejorar la calidad de los alimentos debido a las menores temperaturas y baja exposición del aceite al oxígeno, resultando además que, los contenidos de humedad y luminosidad disminuyeron con el aumento de la temperatura, y concluyendo que, la fritura al vacío es una tecnología alternativa para obtener arepas con huevo de buena calidad y aceptabilidad.

Según Muñoz (2015), demostró la mitigación de la formación de acrilamida hasta un 57% en hojuelas de papas, sometidos a fritura al vacío a 3 pulgadas de Hg (10.16 kPa), de temperaturas que fueron de 96°C, 106°C y 116 °C. Cabe mencionar bajo ese criterio que el único producto que presentó presencia de acrilamida fue el testigo, que se fritó a 125°C, notándose que la formación de la acrilamida se debe a la reacción de Maillard en presencia del precursor asparagina en alimentos tratados térmicamente, notándose que las condiciones de vacío y temperaturas son influyentes en la formación de acrilamida. Es necesario profundizar más acerca de los valores críticos de actividad agua (a_w), y su relación con la formación de éste compuesto potencialmente cancerígeno, ya que su incidencia no está muy clara. (Bassama, 2011).

5.4. Evaluación sensorial

El análisis sensorial de panelistas semientrenados arrojó como resultado que la fritura al vacío tiene mejores características que el testigo sin vacío, al respecto Granda *et al.* (2004) menciona que, la fritura por inmersión al vacío, ha mostrado ser una buena opción para obtener productos con características sensoriales deseadas y con menor contenido de grasa del que se obtiene en una fritura a presión atmosférica, diferencia que se siente a nivel sensorial. Además, cabe mencionar que, Muñoz (2015), manifiesta que las condiciones de vacío no afectan significativamente la textura de las hojuelas de papas fritas, lo que indican que preservaron esta calidad, siendo un factor similar al que obtuvimos con nuestro prototipo de fritura al vacío, atribuyendo a este fenómeno principalmente a la relación que entre la velocidad de cocción y las condiciones de vacío y la formación de corteza del producto.

VI. CONCLUSIONES

Se logró desarrollar un prototipo de fritura al vacío, que trabaja en buenas condiciones y constó de 4 componentes, siendo los más importantes la bomba de vacío y el condensador.

La eficiencia del prototipo fue superior en tiempo y volumen a las papas fritas obtenidas por procesos convencionales.

El contenido de acrilamida disminuye con la fritura a vacío debiéndose este fenómeno a la exposición a bajas temperaturas, asimismo, la acidez total indicó que, las papas fritas no sufrieron alteración debido a las condiciones de vacío.

Se evaluó las características sensoriales destacando notablemente en relación al testigo, esto debido a la exposición mínima al oxígeno.

VII. RECOMENDACIONES

Evaluar el costo operativo de la tecnología de fritura de vacío con respecto al convencional, para validar los procesos de transferencia tecnológica como innovación.

Evaluar el prototipo de fritura al vacío en debe ser probado en diferentes materias primas para validarla tecnología.

Evaluar con más tratamientos las temperaturas iguales o superiores a 130°C.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acosta, C. R. E. (2008). Reducción del contenido de acrilamida en papas chips mediante empleo de pretratamiento y fritura a presión reducida (Doctoral dissertation, Universidad de Chile).
- Becalski, A., Lau, B. P. Y., Lewis, D., & Seaman, S. W. (2003). Acrylamide in foods: Occurrence, sources, and modeling. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(3), 802-808.
- Bassama, J., P. Brat, P. Bohuon , B. Hocine , R. Boulanger , Z. Günata. 2011. Acrylamide kinetic in plantain during heating process: Precursors and effect of water activity. *Food Research International* 44 : 1452–1458-
- Cheftel, H et al, 2009, Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos. 3ra edición México. Editorial, Mc Graw Hill, Pp 7 – 256.
- Fernández, J.E. 2011. Costos de producción del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*).
- Fries, A. M., & Tapia, M. E. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. FAO, ANPE-PERÚ.
- Garzón Beleño, A. M. 2014. Evaluación de niveles de acrimilada en alimentos colombianos^ (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias). Colombia.
- Gökmen, V., & Şenyuva, H. Z. 2006. Study of colour and acrylamide formation in coffee, wheat flour and potato chips during heating. *Food Chemistry*, 99(2), 238-243.
- Gómez Posas, S. M., & Segura Duque, A. L. (2019). FRITURA AL VACIO: Una alternativa para la disminución de acrilamida en la fritura de papas (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Lasallista).
- Hedegaard, R. V. 2007. "Kinetic and mechanistic aspects in the formation of acrylamide." Faculty of Life Sciences, Department of Food Science, Food Chemistry, University of Copenhagen, Denmark.
- Hernández, Elizabeth (2005). Evaluación sensorial. Bogotá, DC. Centro Nacional de Medios para el Aprendizaje.
- Hernández Moreno, L. G. E. 2007. Implementación de una Metodología Analítica para la Cuantificación de Acrilamida en Papas Chips por HPLC MS/MS.
- Hernández Bedoya, D. Y. (2014). Evaluación tecnológica de snacks de papa (*Solanum tuberosum* L.) obtenidos mediante la aplicación combinada ingeniería de matrices y fritura al vacío (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín).

- Maner, W. (1997). Prototipado. Área de Ingeniería de Proyectos. Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación. Centro Politécnico Superior | Universidad de Zaragoza. España. Disponible en:
- Mariscal, M., & Bouchon, P. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food chemistry*, 107(4), 1561-1569.
- Masson, L., Muñoz, J., Romero, N., Camilo, C., Encina, C., Hernández, L., & Paz, R. (2007). Acrilamida en patatas fritas: Revisión actualizada. *Grasas y aceites*, 58(2), 185-193.
- MINAGRI. 2017. Estadísticas de producción de tubérculos. Oficina de Información Agraria. Perú.
- 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. Santiago, Chile.
- Muñoz Quintero, J. R. (2007). Reducción del contenido de acrilamida en hojuelas de papas fritas por aplicaciones de pretratamientos y diferentes temperaturas de fritura.
- Obregón, A., & Repo, R. (2013). Evaluación fisicoquímica y bromatológica de cuatro variedades nativas de papa (*Solanum spp.*). *Ciencia e Investigación*, 16(1), 38-40.
- OMS/FAO. 25/27 de 06 de 2002. Consecuencias para la salud de acrilamida en los alimentos. Recuperado el 29 de 01 de 2014, de Consulta sobre la inocuidad de los alimentos.
- Ortiz, Barredo 2014. Determinación de Acrilamida, Trabajo de Titulación: Investigadora de Proyectos de Biología, Instituto de Investigación y Desarrollo Agrario del País Sucia. Pp 4- 5.
- Pandey, A. and R. Moreira. (2012). "Batch Vacuum Frying System Analysis for potato chips " *Journal of Food Process Engineering* 35(2012): 863-873
- Pedreschi, F., M.S. Mariotti and K. Granby. 2014. "Current issues in dietary acrylamide: formation, mitigation and risk assessment." *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94(1): 9-20
- Portilla Jiménez, M. A. 2014. Diseño e implementación de un sistema de control de temperatura para freidora al vacío. Universidad Tecnológica Equinoccial - Facultad de Ciencias de la Ingeniería - Carrera de Ingeniería Mecatrónica. Quito-Ecuador
- Quesada Corrales, Guido Mauricio. 2012. Patente Internacional Freidora al vacío Número de Solicitud: PCT/CR2012/000002. UNIVERSIDAD DE COSTA RICA. Código Postal 11501, COSTA RICA.

- Torres, J. D., Acevedo, D., & Montero, P. M. 2017. Efectos de la Fritura al Vacío en los Atributos de Calidad de Arepa con Huevo. *Información tecnológica*, 28(1), 99-108.
- Troncoso, E., F. Pedreschi and R. N. Zuñiga. 2009.. "Comparative Study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmosferic frying " *Food Science and Technology* 42(2009): 187-195.
- Ullate, C. C., Mata, A. I., & Echandi, M. L. A. 2016. Formación de acrilamida durante el procesamiento de alimentos. Una revisión. *Rev. costarric. salud pública*, 25(2), 28-35.
- Zepeda Arévalo, G. A. (2018). Ingesta de acrilamida en adolescentes de nivel secundaria (Doctoral dissertation, Facultad en Ciencias de la Nutrición y Alimentos-Licenciatura en Nutriología-UNICACH).

ANEXO 1: DATOS ESTADÍSTICOS ACRILAMIDA

Análisis de la varianza

Variable N R² R² A_j CV
Acrilamida 27 1.00 1.00 6.49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo.	33310026.21	8	4163753.28	2805.97	<0.0001
P vacío	4766407.58	2	2383203.79	1606.05	<0.0001
Temperatura	19010803.47	2	9505401.73	6405.72	<0.0001
P vacío*Temperatura	9532815.16	4	2383203.79	1606.05	<0.0001
Error	26710.05	18	1483.89		
<u>Total</u>	<u>33336736.26</u>	<u>26</u>			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=46.34504

Error: 1483.8918 gl: 18

P vacío Medias n E.E.

10.00 0.00 9 12.84 A

5.00 862.41 9 12.84 B

15.00 917.60 9 12.84 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=46.34504

Error: 1483.8918 gl: 18

Temperatura Medias n E.E.

110.00	0.00	9	12.84	A
130.00	0.00	9	12.84	A
120.00	1780.02	9	12.84	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=110.20530

Error: 1483.8918 gl: 18

P vacio Temperatura Medias n E.E.

15.00	110.00	0.00	3	22.24	A
5.00	130.00	0.00	3	22.24	A
15.00	130.00	0.00	3	22.24	A
5.00	110.00	0.00	3	22.24	A
10.00	130.00	0.00	3	22.24	A
10.00	110.00	0.00	3	22.24	A
10.00	120.00	0.00	3	22.24	A
5.00	120.00	2587.24	3	22.24	B
15.00	120.00	2752.81	3	22.24	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

ANEXO 2. FICHA DE ANÁLISIS SENSORIAL

FICHA DE ANÁLISIS SENSORIAL

APELLIDOS Y NOMBRES:

FECHA: / /

PAPAS FRITAS:

OBJETIVO: Evaluación sensorial de los atributos de color, olor, sabor, textura.

INSTRUCCIONES: Pruebe las muestras y calificalas en los atributos COLOR, OLORES, SABOR, TEXTURA. Marque con una X, según su preferencia: Enjuague su paladar entre cada muestra con agua".

COLOR	Puntuación	TRATAMIENTOS									
		xlr	nyr	zws	prs	fro	jdj	kgq	Ytg	jvi	dfo
Oscuro	1										
Muy oscuro	2										
Demasiado oscuro	3										
Regular	4										
Bueno	5										
Muy bueno	6										
Excelente	7										

OLOR	Puntuación	TRATAMIENTOS									
		xlr	nyr	zws	prs	fro	jdj	kgq	Ytg	jvi	dfo
Desagradable	1										
Muy desagradable	2										
Malo	3										
Regular	4										
Bueno	5										
Muy bueno	6										
Excelente	7										

SABOR	Puntuación	TRATAMIENTOS									
		xlr	nyr	zws	prs	fro	jdh	kgq	Ytg	jvi	dfo
Pésimo	1										
Muy malo	2										
Malo	3										
Regular	4										
Bueno	5										
Muy bueno	6										
Excelente	7										

TEXTURA	Puntuación	TRATAMIENTOS									
		xlr	nyr	zws	prs	fro	jdh	kgq	Ytg	jvi	dfo
Pésimo	1										
Blando	2										
Muy blando	3										
Regular	4										
Ligeramente crocante	5										
Crocante	6										
Excelente	7										

ANEXO 3. BASE DE DATOS DE ANÁLISIS SENSORIAL

COLOR

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T1	5	5	5	5	4	5	4	5	4	5	7	5	4	5	5
T2	7	7	6	6	6	6	6	6	5	5	5	4	4	4	6
T3	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	7	3	3	6	5
T4	5	5	6	6	5	5	3	6	3	5	6	4	5	4	5
T5	4	4	4	5	5	5	3	5	6	5	5	3	5	1	5
T6	5	5	7	4	4	5	3	5	6	5	5	6	5	5	3
T7	5	5	5	5	5	4	5	4	2	5	7	4	5	1	3
T8	5	5	1	5	4	5	4	5	1	5	6	4	3	5	5
T9	5	5	4	5	5	4	5	5	6	4	5	6	2	5	5
T0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	7	5	5	5

OLOR

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T1	4	4	5	7	4	4	4	5	4	5	7	4	5	5	5
T2	6	6	5	6	6	7	6	5	4	4	6	5	5	6	6
T3	5	5	6	5	5	5	5	5	4	4	6	4	5	4	3
T4	5	5	5	5	5	5	5	6	3	3	5	5	5	4	5
T5	5	5	4	5	5	5	5	5	3	6	5	5	4	1	5
T6	5	4	5	5	5	5	5	6	4	5	7	6	4	3	5
T7	5	4	6	4	5	5	5	5	4	5	6	4	4	4	4
T8	5	4	3	5	4	5	5	5	3	4	6	4	3	3	3
T9	5	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	3	3	5
T0	5	4	6	5	5	5	5	6	4	5	5	6	4	3	5

SABOR

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T1	6	6	4	5	5	6	4	4	4	5	7	4	4	4	5
T2	7	7	6	6	6	7	6	6	5	4	5	5	5	3	6
T3	5	5	4	5	5	4	4	4	4	5	7	3	5	4	5
T4	5	5	7	5	5	5	3	6	3	4	1	4	5	4	5
T5	5	5	3	6	5	5	3	5	3	6	3	4	5	2	5
T6	5	5	6	5	4	5	5	7	3	6	6	4	4	5	5
T7	5	5	4	5	4	5	5	5	2	5	7	5	3	4	4
T8	5	5	3	6	4	5	5	5	2	5	6	5	3	4	5
T9	5	5	3	5	5	5	4	4	5	4	7	5	4	4	4
T0	5	5	3	6	5	5	5	6	6	4	2	4	3	4	5

TEXTURA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T1	6	6	4	5	4	5	5	4	6	6	7	1	2	5	5
T2	7	7	7	7	6	7	7	7	2	4	5	6	5	1	4
T3	5	5	5	5	5	5	5	5	3	4	7	7	6	2	5
T4	5	5	7	5	5	5	5	7	6	4	1	6	5	6	5
T5	6	6	1	6	5	6	5	6	3	6	6	7	5	2	5
T6	5	5	6	5	5	5	6	6	4	6	6	1	3	5	5
T7	5	5	2	6	5	5	5	5	6	6	7	7	3	1	5
T8	6	6	6	5	5	4	5	3	6	6	6	7	6	7	5
T9	4	5	4	5	5	5	5	4	5	6	6	5	6	6	5
T0	4	5	5	5	5	5	5	5	6	4	6	1	3	6	5

ANEXO 4. PANEL FOTOGRÁFICO



Pesado de la materia prima (papa)



Registro del pesado de materia prima



Hojuelado de la materia prima



Calentado de aceite a temperatura referida



Registro de temperatura del aceite



Cocción en la freidora a vacío (papa frita)



Muestras de papas fritas a diferentes t°



Rotulación de la muestra



Triturado de la muestra, para el desgrase



Rotulación de la muestra para desgrase



Pesado de la muestra para ser empaquetado



Empaquetado de la muestra en papel



Matraces enfriando en la campana



Colocado de muestra en el cuerpo del aparato soxhlet



Encendido de la cocinilla



Desgrase de la muestra



Muestra desgrasada



Trituración de la muestra desgrasada



Rotulado de muestra triturado



Pesado de 2gr de muestra requerida



Rotulado de muestra en tuvos falcon con



Agregado de agua ozonizada 20 ml



Macerado por 8 horas



Colocado de muestra en micro tubos con tapa



Rotulado de muestra en micro tubos con tapa



Colocado de muestra para la centrifugación



Centrifugación 10000rpm/s X 10min.



Muestra centrifugada



Filtrado de muestra en los viales de color ámbar



Aceite utilizado en la fritura de papas



Etanol y fenolftaleína



Peso de la muestra aceite (utilizado)



Titulación con NaOH 0.01



Resultado de ácidos grasos



Colorímetro



Análisis sensorial

OBSERVACIÓN.....
.....
.....

FIRMA