

Application of the Three-Factor Design as an Educational Strategy in Industrial Engineering: An Experimental Case on Healthy Potato Cooking

María Elizabeth Puelles Bulnes, Dr¹, Julio Rafael Cervantes Miranda², Jorge Andre Cardenas Echevarria³, Jose Miguel Bartolo Bolimbo⁴,
Marina Giuliana Sulca Valderrama⁵

^{1,2,3,4,5}Ricardo Palma University, maria.puellesb@urp.edu.pe, 202012329@urp.edu.pe, 202112388@urp.edu.pe, 202112407@urp.edu.pe,
marina.sulca@urp.edu.pe

Abstract

Potato frying is a popular cooking method, but it faces challenges such as oil degradation, the formation of harmful compounds, and a decrease in product quality. The type of oil, cooking material, and potato variety affect oil stability and reuse. Without proper control, the oil reaches its smoke point prematurely, reducing efficiency and food safety.

To address this issue, a Trifactorial Experimental Design 2x2x2x2 was applied, evaluating two types of oils, two types of pots and two potato varieties (white and yellow). The number of frying batches that could be performed before oil degradation and the time required to reach the smoke point were measured. The results indicated that one oil and stainless-steel pots prolonged oil stability, allowing for a greater number of frying batches before deterioration. The smoke point was confirmed as a critical parameter in frying optimization, providing key information to improve efficiency and sustainability in the food industry. This study was designed and conducted by Industrial Engineering students as part of their training in the *Design of Experiments* course. Through this experience, the students integrated statistical learning with practical application in a real experimental setting, developing key competencies in process analysis, quality control, assumption validation, and data-driven decision-making, from an educational perspective applied to industrial engineering.

Keywords

Design of Experiments, Engineering Education, Potato Frying, Smoke Point, Process Optimization

Aplicación del Diseño Trifactorial como Estrategia Educativa en Ingeniería Industrial: Un Caso Experimental sobre Cocción Saludable de Papas

María Elizabeth Puelles Bulnes, Dr¹, Julio Rafael Cervantes Miranda², Jorge Andre Cardenas Echevarria³, Jose Miguel Bartolo Bolimbo⁴,
Marina Giuliana Sulca Valderrama⁵

^{1,2,3,4,5}Universidad Ricardo Palma, maria.puellesb@urp.edu.pe, 202012329@urp.edu.pe, 202112388@urp.edu.pe, 202112407@urp.edu.pe,
marina.sulca@urp.edu.pe

Resumen

La fritura de papas es un método popular, pero enfrenta desafíos como la degradación del aceite, la formación de compuestos nocivos y la disminución de la calidad del producto. El tipo de aceite, el material de cocción y la variedad de papa afectan la estabilidad y reutilización del aceite. Sin control, alcanza su punto de humo prematuramente, reduciendo la eficiencia y seguridad alimentaria. Para abordar este problema, se aplicó un Diseño Experimental Trifactorial, 2x2x2x2, evaluando dos tipos de aceites (girasol y soya), dos tipos de ollas (acero inoxidable y aluminio fundido) y dos variedades de papa (blanca y amarilla). Se midió la cantidad de tandas de fritura que podían realizarse antes de la degradación del aceite y el tiempo necesario para alcanzar su punto de humo. Los resultados indicaron que el aceite de girasol y la olla de acero inoxidable prolongaron la estabilidad del aceite, permitiendo un mayor número de tandas antes de su deterioro. Se confirmó que el punto de humo es un parámetro crítico en la optimización de la fritura, proporcionando información clave para mejorar la eficiencia y sostenibilidad del proceso en la industria alimentaria. Este estudio fue diseñado y ejecutado por estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial como parte de su formación en el curso de *Diseño de Experimentos*. A través de esta experiencia, los alumnos integraron el aprendizaje estadístico con la aplicación práctica en un entorno experimental real, desarrollando competencias clave en análisis de procesos, control de calidad, validación de supuestos y toma de decisiones basadas en datos, desde una perspectiva educativa aplicada a la ingeniería industrial.

Palabras clave - Diseño de Experimentos, Educación en Ingeniería, Fritura de papas, punto de humo, optimización del proceso.

I. INTRODUCCIÓN

Las papas fritas son un alimento apreciado en todo el mundo por su sabor, textura crujiente y versatilidad culinaria. Sin embargo, la falta de cuidado en el proceso de fritura puede afectar tanto la calidad del producto como la salud del consumidor. Diversos estudios han demostrado que el tipo de aceite utilizado, el tiempo de fritura y el material del recipiente influyen significativamente en la estabilidad térmica y oxidativa del aceite, así como en la formación de compuestos potencialmente dañinos como la acrilamida.

Por ejemplo, aceites con un mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados y menor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados tienden a exhibir una mejor estabilidad térmica. Además, la incorporación de antioxidantes puede mejorar la estabilidad oxidativa, prolongando así la vida útil y la calidad del aceite durante aplicaciones a altas temperaturas [1], [2].

La fritura repetida impacta considerablemente la calidad del aceite de cocina y modifica el perfil nutricional de las papas [3]. El material del recipiente de cocción influye en la distribución del calor y la eficiencia térmica, afectando el rendimiento del proceso. Diferentes materiales y diseños pueden optimizar la transferencia térmica, mejorando la eficiencia energética en la cocción [4][5].

Por otro lado, la fritura con aire ha mostrado reducciones en la absorción de aceite similares a las obtenidas con recubrimientos hidrocoloides, que pueden disminuir la absorción de aceite entre un 30.6% y un 50.8% [6]. Sin embargo, su impacto en la formación de compuestos químicos y su viabilidad industrial aún requieren mayor estudio.

Las papas fritas, a pesar de su popularidad, presentan riesgos para la salud debido a la generación de compuestos perjudiciales durante la fritura, como la acrilamida y aldehídos tóxicos, relacionados con enfermedades crónicas. Por ello, es fundamental comprender las implicaciones de las prácticas de fritura y la calidad del aceite para proteger la salud del consumidor [2], [4], [7] y [8].

Para abordar estos problemas y promover una cocción térmica más saludable, el presente estudio aplica un Diseño de Experimentos Trifactorial para evaluar la influencia de tres variables clave: tipo de aceite, tiempo de fritura y material del recipiente de cocción. Este enfoque experimental, basado en la educación en ingeniería – entendida como la aplicación de métodos analíticos y experimentales para la solución de problemas reales –, permite analizar la interacción de estos factores sobre la calidad final del producto y la estabilidad del aceite utilizado. Las variables fueron seleccionadas por su impacto directo en la calidad y estabilidad durante la fritura:

1. **Tipo de aceite:** determina el punto de humo, la resistencia a la degradación térmica y la formación de compuestos dañinos como la acrilamida. Aceites con mayor estabilidad térmica pueden mejorar la calidad del alimento y reducir riesgos para la salud [9], [10] y [11].
2. **Tiempo de fritura:** afecta la absorción de aceite, la textura de la papa y la degradación de los lípidos. Tiempos prolongados pueden generar mayor oxidación del aceite y aumentar la producción de contaminantes [10], [11].
3. **Material del recipiente:** influye en la distribución del calor y la eficiencia térmica. Materiales como acero inoxidable, aluminio, hierro fundido pueden afectar la estabilidad del aceite y la uniformidad de la fritura [12].

Aunque el tipo de aceite es crucial para minimizar la formación de compuestos dañinos, los métodos y condiciones de cocción también influyen significativamente en el impacto general de los alimentos fritos en la salud. El Diseño de Experimentos Trifactorial permite examinar sistemáticamente la relación entre estas variables y su efecto en la degradación del aceite, el punto de humo y la absorción de grasa en el alimento. La implementación de este enfoque en la enseñanza de la ingeniería industrial y alimentaria ofrece a los estudiantes la oportunidad de adquirir habilidades prácticas en análisis de procesos, control de calidad y optimización de operaciones. En este contexto, el presente trabajo no solo aporta conocimientos sobre técnicas de fritura más saludables, sino que también enfatiza la importancia de las metodologías experimentales en la educación en ingeniería. El estudio busca establecer bases científicas para la mejora de los procesos de cocción y promover alternativas que reduzcan los efectos negativos de la fritura en la salud, alineándose con las tendencias actuales de la industria alimentaria y la demanda de productos más saludables.

Finalmente, este trabajo fue desarrollado como parte del curso de Diseño de Experimentos de la carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú [13] al [17]. Los estudiantes aplicaron principios de aleatorización, bloqueo, repetición y análisis factorial para fortalecer sus competencias en control de calidad, análisis de procesos y toma de decisiones basada en datos. Este enfoque práctico busca mejorar la formación en ingeniería mediante metodologías activas de aprendizaje.

II. OBJETIVO

Determinar la eficiencia y rendimiento de dos tipos de aceites, así como la influencia del material del recipiente de cocción y la variedad de papa en el número de tandas de fritura que se pueden realizar antes de que el aceite se degrade.

Además, analizar el tiempo que tarda cada tipo de aceite en alcanzar su punto de humo bajo distintas condiciones experimentales.

El punto de humo es la temperatura a la cual el aceite comienza a descomponerse y producir humo visible, indicando pérdida de estabilidad térmica y la posible formación de compuestos tóxicos. Por ello, es un indicador clave para determinar la calidad y seguridad en la reutilización del aceite durante la fritura.

Este estudio aplicará un Diseño Experimental Trifactorial para analizar la interacción entre los factores: tipo de aceite, material del recipiente y variedad de papa, con el fin de identificar la combinación óptima que permita prolongar la vida útil del aceite y mantener la calidad del producto final.

Además, el enfoque pedagógico refuerza la formación en ingeniería industrial al promover competencias en análisis de procesos, control de calidad y desarrollo de métodos de fritura más saludables y sostenibles.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

La fritura de papas es un método de cocción ampliamente apreciado en todo el mundo por su sabor, textura crujiente y versatilidad en la gastronomía. Sin embargo, a pesar de su popularidad, muchas veces no se toman en cuenta los cuidados adecuados en el proceso de fritura, lo que puede comprometer tanto la calidad del alimento como la salud del consumidor. Las investigaciones indican que los aceites con un mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados y menor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados tienden a exhibir una mejor estabilidad térmica. Además, la incorporación de antioxidantes puede mejorar la estabilidad oxidativa, prolongando así la vida útil y la calidad del aceite durante aplicaciones a altas temperaturas [18] y [19]. Los estudios sugieren que la fritura repetida puede impactar considerablemente la calidad del aceite de cocina y modificar el perfil nutricional de las papas [20]. El material del recipiente de cocción influye significativamente en la distribución del calor y la eficiencia térmica, afectando el rendimiento en la cocina. Diversos estudios destacan cómo distintos materiales y diseños pueden optimizar la transferencia térmica, mejorando así la eficiencia energética en los procesos de cocción [12] y [20]. Finalmente, los estudios indican que la fritura con aire puede lograr reducciones en la absorción de aceite similares a las obtenidas con recubrimientos hidrocoloides, los cuales pueden disminuir la absorción de aceite entre un 30.6% y un 50.8% [21]. Sin embargo, su impacto en la formación de compuestos químicos y su viabilidad industrial aún requieren más estudios. A pesar de su popularidad, las papas fritas presentan riesgos para la salud que requieren precaución. El proceso de fritura puede generar compuestos perjudiciales, como la acrilamida y aldehídos tóxicos, los cuales están relacionados con enfermedades crónicas. Por ello, comprender las implicaciones de las prácticas de fritura y la calidad del aceite es fundamental para la salud del consumidor.

IV. METODOLOGIA

El presente trabajo corresponde a una propuesta desarrollada con el fin de identificar las variables, requisitos e instrumentos necesarios para el análisis del proceso de fritura de papas, considerando su impacto en la estabilidad del aceite y la calidad del producto final.

4.1. PRINCIPIOS BÁSICOS

Según [22], [23] tenemos los siguientes principios básicos:

Aleatorización: El experimento se realizó siguiendo un orden aleatorio para minimizar posibles sesgos en la recolección de datos. Se elaboró una matriz de orden de experimentación, en la cual se registraron todas las combinaciones posibles de los factores en estudio luego, se asignó un orden experimental a las combinaciones mediante un método de selección aleatoria. Este procedimiento se realizó de manera independiente en dos réplicas, asegurando que cada combinación sea evaluada bajo condiciones aleatorias y controladas.

Bloqueo: El principio de bloqueo es fundamental para mejorar la precisión de la experimentación al no considerar factores externos que pueden influir en la variable dependiente, minimizando el error experimental y mejorando la confiabilidad de los datos.

Repetición: El estudio se ejecutó en dos réplicas debido a restricciones de costo y tiempo. No obstante, se reconoce que un mayor número de réplicas incrementaría la robustez de los resultados y la confiabilidad estadística del análisis.

4.2 DESCRIPCIÓN VARIABLE DEPENDIENTE

En este estudio experimental sobre la fritura de papas, se han definido el número de tandas de papas que pueden freírse antes de la degradación del aceite.

Esta variable cuantifica la cantidad de ciclos o tandas de fritura que pueden realizarse antes de que el aceite utilizado deje de ser apto para el consumo debido a su degradación térmica y química. Para determinarlo, se evaluarán diferentes combinaciones de tipo de aceite, material del recipiente y variedad de papa, midiendo cuántas tandas se pueden cocinar antes de que el aceite alcance su punto de humo.

El punto de humo es la temperatura a la cual el aceite comienza a descomponerse y a liberar compuestos volátiles visibles como humo, lo que indica la pérdida de estabilidad térmica y la formación de sustancias potencialmente nocivas. Cuando el aceite alcanza este punto, su reutilización para fritura se vuelve insegura y afecta negativamente la calidad del alimento frito.

Por tanto, esta variable dependiente es clave para determinar la durabilidad y el rendimiento del aceite bajo diferentes condiciones experimentales, permitiendo establecer recomendaciones para optimizar el proceso de fritura y reducir riesgos para la salud del consumidor.

4.3 DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

Este experimento evalúa tres variables independientes clave, las cuales influyen directamente en la calidad de la fritura y la estabilidad térmica del aceite:

Factor A – Tipo de aceite: Se analizarán dos tipos de aceites comerciales ampliamente utilizados en la industria alimentaria: Aceite de girasol conocido en el mercado, rico en ácidos grasos poliinsaturados y vitamina E, con beneficios para la salud cardiovascular y reducción del colesterol LDL y el aceite de soja que contiene fitoestrógenos, que pueden favorecer la salud ósea, especialmente en mujeres posmenopáusicas.

Factor B – Variedad de papa: Se utilizaron dos de las variedades más utilizadas en la preparación de papas fritas en

el ámbito gastronómico: Papa blanca (*Solanum tuberosum* L.) y papa amarilla (*Solanum phureja*). Evaluar estas variedades permitirá observar su comportamiento diferencial en el proceso de fritura en función del tipo de aceite y el material de la olla.

Factor C – Material del recipiente de cocción: Se utilizaron dos tipos de ollas con diferentes propiedades de conducción térmica: Olla de aluminio y Olla de acero inoxidable

Adicionalmente, se evaluarán las interacciones entre estos factores para determinar su efecto combinado sobre la estabilidad del aceite y el proceso de fritura. Se considerarán interacciones dobles (AB, AC y BC) y una interacción triple (ABC). La inclusión de estas interacciones permitirá aumentar la precisión de los resultados y reducir el margen de error en los datos obtenidos, proporcionando un análisis más completo de los factores que afectan la calidad de la fritura.

4.3 MODELO MATEMÁTICO

En este estudio, se consideran tres factores principales [22] al [25], que influyen en el proceso de fritura: el tipo de aceite, la variedad de papa y el material del recipiente. Cada factor se evalúa en dos niveles, definiendo así un diseño factorial completo Trifactorial (2^3), que permite analizar los efectos principales y las interacciones entre los factores.

Sea A el factor correspondiente al tipo de aceite, con niveles: girasol (A1) y soja (A2).

Sea B el factor correspondiente a la variedad de papa, con niveles: papa blanca (B1) y papa amarilla (B2).

Sea C el factor correspondiente al material del recipiente, con niveles: acero inoxidable (C1) y aluminio fundido (C2).

El modelo matemático para una respuesta Y (número de tandas antes de degradación) puede expresarse como:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

Siendo: $i = 1, \dots, a$; $j = 1, \dots, b$; $k = 1, \dots, c$, $l = 1, \dots, n$

donde:

μ : Es la media general.

α_i : Es el efecto del nivel i-ésimo del factor A.

β_j : Es el efecto del nivel j-ésimo del factor B.

γ_k : Es el efecto del nivel k-ésimo del factor C.

$\alpha\beta_{ij}$: Es el efecto de la interacción del nivel i-ésimo del factor A y el nivel j-ésimo del factor B.

$\alpha\gamma_{ik}$: Es el efecto de la interacción del nivel i-ésimo del factor A y el nivel k-ésimo del factor C.

$\beta\gamma_{jk}$: Es el efecto de la interacción del nivel j-ésimo del factor B y el nivel k-ésimo del factor C.

$\alpha\beta\gamma_{ijk}$: Es el efecto de la interacción del nivel i-ésimo del factor A, el nivel j-ésimo del factor B y el nivel k-ésimo del factor C.

Las ecuaciones del ANOVA serán las siguientes:

$$SC_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n Y_{jkl}^2 - \frac{Y_{...}^2}{N}$$

$$SC_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i..}^2}{bcn} - \frac{Y_{...}^2}{N}; SC_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{.j.}^2}{acn} - \frac{Y_{...}^2}{N}; SC_C = \sum_{k=1}^c \frac{Y_{...k}^2}{abn} - \frac{Y_{...}^2}{N};$$

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij.}^2}{cn} - \frac{Y_{...}^2}{N} - SC_A - SC_B;$$

$$SC_{AC} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c \frac{Y_{i.k.}^2}{bn} - \frac{Y_{...}^2}{N} - SC_A - SC_C;$$

$$SC_{BC} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{.jk.}^2}{an} - \frac{Y_{...}^2}{N} - SC_B - SC_C;$$

$$SC_{ABC} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \frac{Y_{ijk.}^2}{n} - \frac{Y_{...}^2}{N} - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC}$$

$$SC_E = SC_T - SC_A - SC_B - SC_C - SC_{AB} - SC_{AC} - SC_{BC} - SC_{ABC}$$

Donde:

SC_T : Suma de cuadrados totales

SC_A : Suma de cuadrados del factor A.

SC_B : Suma de cuadrados del factor B.

SC_C : Suma de cuadrados del factor C.

SC_{AB} : Suma de la interacción de los factores A y B.

SC_{AC} : Suma de la interacción de los factores A y C.

SC_{BC} : Suma de la interacción de los factores B y C.

SC_{ABC} : Suma de la interacción de los factores A, B y C.

El cuadro ANOVA será el siguiente:

TABLA I

ANOVA DEL DISEÑO TRIFACTORIAL [18]

FV	SC	GL	CM	F ₀	Valor-p
Efecto A	SC _A	a - 1	CM _A	CM _A /CM _E	P(F > F ₀ ^A)
Efecto B	SC _B	b - 1	CM _B	CM _B /CM _E	P(F > F ₀ ^B)
Efecto C	SC _C	c - 1	CM _C	CM _C /CM _E	P(F > F ₀ ^C)
Efecto AB	SC _{AB}	(a - 1)(b - 1)	CM _{AB}	CM _{AB} /CM _E	P(F > F ₀ ^{AB})
Efecto AC	SC _{AC}	(a - 1)(c - 1)	CM _{AC}	CM _{AC} /CM _E	P(F > F ₀ ^{AC})
Efecto BC	SC _{BC}	(b - 1)(c - 1)	CM _{BC}	CM _{BC} /CM _E	P(F > F ₀ ^{BC})
Efecto ABC	SC _{ABC}	(a - 1)(b - 1)(c - 1)	CM _{ABC}	CM _{ABC} /CM _E	P(F > F ₀ ^{ABC})
Error	SC _E	abc(n - 1)	CM _E		
Total	SC _T	abcn - 1			

En la Tabla 1, se observa los diferentes efectos que será necesario analizar la estadística F o el valor p:

Si se cumple que $p_{valor} > \alpha$, entonces existe evidencia para aceptar H₀.

Si se cumple que $p_{valor} < \alpha$, entonces existe evidencia para rechazar H₀.

4.5 EXPERIMENTACION

i) Consideraciones Claves en la Fritura

Para evaluación de la fritura de girasol y soya, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones importantes del proceso

- ✓ **Temperatura del aceite:** Se mantuvo entre 175°C y 190°C para lograr un dorado uniforme y minimizar la absorción excesiva de aceite.

- ✓ **Composición del aceite:** Se seleccionaron aceites con alta estabilidad térmica y perfil de ácidos grasos, fundamentales para la resistencia a la degradación térmica.

- ✓ **Absorción de aceite:** Influye en la textura y contenido calórico del producto final, aunque no es el principal determinante del tiempo de fritura.

- ✓ **Contenido de agua y Reacción de Maillard:** Factores claves en el proceso de dorado, afectando la textura y apariencia del producto final.

ii) Materiales y Factores Experimentales

Factor A - Tipo de aceite: Aceite de girasol y aceite de soya.

Factor B - Material de la olla: Acero inoxidable y aluminio fundido.

Factor C - Variedad de papa: Blanca y amarilla.

iii) Procedimiento Experimental

Preparación de los Elementos

- Se utilizó 200 ml de aceite en cada prueba para mantener condiciones homogéneas.
- Se seleccionaron papas de tamaño y peso similares, eliminando aquellas que no cumplieran con estos criterios.
- Se definió el tamaño de cada tanda en 150 g de papas cortadas, buscando cubrir la base de la olla de manera uniforme.
- Se emplearon quemadores medianos de cocina a gas (Marca: Miray) para asegurar una temperatura constante en todas las pruebas.

Proceso de Fritura

1. Calentamiento del aceite hasta alcanzar la temperatura óptima.
2. Fritura de la primera tanda (150 g de papa), con un tiempo inicial de 2 minutos antes de girarlas una vez.
3. El operador decidirá el tiempo adicional necesario hasta alcanzar el dorado óptimo, basado en una guía visual de estados (*natural*, *semi-dorada*, *dorado*, *quemado*), ver Tabla 2.
4. Una vez finalizada la fritura, se retiran las papas y se inicia la siguiente tanda, anotando observaciones y verificando la estabilidad del aceite.
5. Se repiten los pasos hasta que el aceite alcance su punto de humo, momento en el cual se detiene el conteo de tandas.

iv) Criterio de Finalización

- Si el aceite alcanza su punto de humo, se detiene la fritura y se registra el número total de tandas y el tiempo de duración del aceite.
- Si el punto de humo ocurre durante la fritura, se descarta la última tanda incompleta y no se contabiliza en los resultados.
- Se repite el procedimiento con todas las combinaciones de factores siguiendo el orden aleatorio definido previamente.

Tabla 2: Guía Visual de los estados de la papa

Guía Visual				
ESTADO DE LA PAPA DURANTE EL PROCESO DE FRITURA				
TIPO DE PAPA	ESTADO NATURAL	SEMI DORADA	DORADA	QUEMADA
PAPA BLANCA				
PAPA AMARILLA				

LEYENDA:	
Estado Natural:	Papa pelada y cortada en bastones rectangulares, sin ningún proceso de cocción.
Semi Dorada:	La papa presenta un color dorado irregular de baja intensidad sobre su superficies.
Dorada:	La papa presenta un color dorado uniforme sobre su superficies.
Quemada:	El dorado de la papa se ha oscurecido más allá de lo deseado volviéndose marrón oscuro o incluso negro en algunas partes.

NOTA:	
Estado ideal:	Dorada

5. RESULTADOS

5.1 Datos experimentales

Los resultados obtenidos luego de la experimentación, con cada réplica, se presentan en la Tabla 3:

Tabla 3: Datos del Experimento

TIPO DE ACEITE	TIPOS DE OLLAS			
	OLLA DE ACERO INOXIDABLE		OLLA DE ALUMINIO FUNDIDO	
	TIPOS DE PAPAS		TIPOS DE PAPAS	
	PAPA BLANCA	PAPA AMARILLA	PAPA BLANCA	PAPA AMARILLA
ACEITE DE GIRASOL	7	6	5	3
MARCA TOTTUS	6	5	3	2
ACEITE VEGETAL (SOJA)	5	4	3	2
MARCA COCINERO	3	4	2	2

En la Tabla 3, muestra el número de tandas de papas fritas que se pudieron cocinar antes de la degradación del aceite, según diferentes combinaciones de tipo de aceite, tipo de papa y tipo de olla.

5.2 Análisis de Varianza

Puesto que el experimento se enmarca en el análisis de calidad de aceites, este se realizará a un nivel de confianza del 99%, por ello el alfa será: $\alpha = 0.01$. En la Tabla 4, se muestran los resultados del ANOVA Trifactorial, donde se observa que solo se rechazaron las hipótesis nulas de los factores principales: tipos de aceites y tipos de ollas ($p_{\text{valores}} < \alpha$). Esto indica que dichos factores influyen significativamente en el número de tandas completas de papas fritas. Por otro lado, no se rechazaron las hipótesis nulas para los factores tipo de papa ni para las interacciones entre factores, lo que significa que estos no influyen de manera significativa en la variable respuesta.

En resumen, los resultados sugieren que tanto el tipo de aceite como el tipo de olla afectan significativamente la durabilidad del aceite durante la fritura, mientras que la variedad de papa no tiene un impacto estadísticamente relevante en el número de tandas posibles antes de la degradación del aceite.

5.3 Análisis de Diagramas de Cajas

En la figura 1, muestra el diagrama de caja del tipo de olla:

- Las ollas de aluminio fundido presentan un menor rendimiento en términos de reutilización del aceite, permitiendo solo 2 a 3 tandas, con una mediana en 3 tandas.

- La dispersión de los datos es mayor en el acero inoxidable, lo que indica que su rendimiento puede verse afectado por otros factores, como el tipo de aceite y papa utilizados.
- Se observa un valor atípico en la olla de aluminio, lo que sugiere que en una de las pruebas el aceite tuvo un rendimiento inesperado.

Tabla 4: Anova Trifactorial

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: TANDAS_DE_PAPAS

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	33,750 ^a	7	4,821	6,429	,009
Intersección	240,250	1	240,250	320,333	,000
TIPOS_DE_ACEITES	9,000	1	9,000	12,000	,009
TIPOS_DE_PAPAS	2,250	1	2,250	3,000	,122
TIPOS_DE_OLLAS	20,250	1	20,250	27,000	,001
TIPOS_DE_ACEITES * TIPOS_DE_PAPAS	1,000	1	1,000	1,333	,282
TIPOS_DE_ACEITES * TIPOS_DE_OLLAS	1,000	1	1,000	1,333	,282
TIPOS_DE_PAPAS * TIPOS_DE_OLLAS	,250	1	,250	,333	,580
TIPOS_DE_ACEITES * TIPOS_DE_PAPAS * TIPOS_DE_OLLAS	,000	1	,000	,000	1,000
Error	6,000	8	,750		
Total	280,000	16			
Total corregido	39,750	15			

a. R al cuadrado = ,849 (R al cuadrado ajustada = ,717)

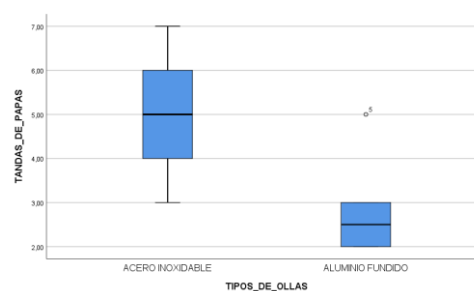


Figura 1: Influencia del Tipo de Olla en la cantidad de tantas de papas fritas

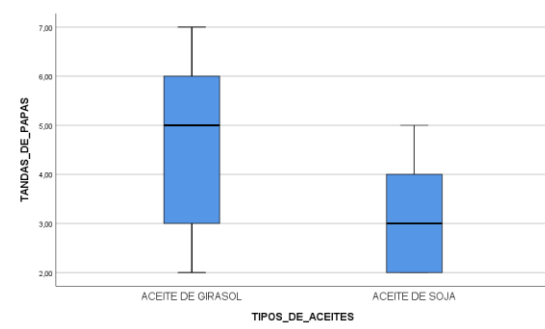


Figura 2: Influencia del Tipo de Aceite en la cantidad de tantas de papas fritas

La Figura 2, se compara la cantidad de tandas de papas fritas que se pueden cocinar antes de que el aceite alcance su punto de humo, utilizando aceite de girasol y aceite de soja.

- El aceite de girasol presenta una mayor capacidad de reutilización, permitiendo freír un número significativamente mayor de tandas antes de degradarse. Su rango de variación se encuentra aproximadamente entre 3 y 7 tandas, con una mediana cercana a 6 tandas.

- En contraste, el aceite de soya muestra una menor estabilidad térmica, permitiendo freír entre 2 y 4 tandas, con una mediana más baja, cercana a 3 tandas.
- Se observa una mayor dispersión en los datos del aceite de girasol, lo que sugiere que su rendimiento puede verse afectado por otros factores experimentales, como el tipo de papa y el material del recipiente de cocción.
- El aceite de soya, aunque con menor variabilidad, muestra una menor capacidad para resistir múltiples ciclos de fritura antes de alcanzar su punto de humo.

5.4 Análisis de los efectos principales y de interacción

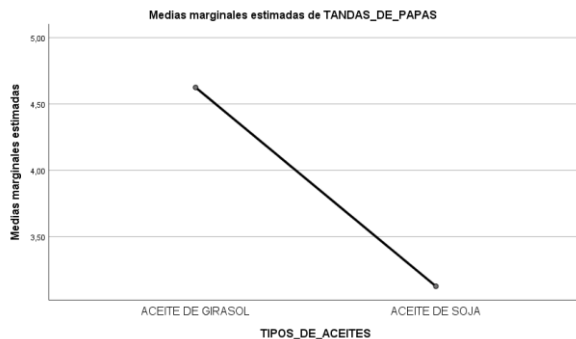


Figura 3: Medias marginales según el tipo de aceite

La Figura 3, muestra las medias marginales estimadas del número de tandas de papas fritas para los dos tipos de aceite evaluados. Se observa que el aceite de girasol presenta una media marginal significativamente mayor (aproximadamente 4.6 tandas) en comparación con el aceite de soya (aproximadamente 3.2 tandas). Esto indica que, en promedio, el aceite de girasol permite realizar un mayor número de tandas de fritura antes de degradarse, reflejando una mejor estabilidad térmica y durabilidad durante el proceso.

Este resultado es coherente con los análisis previos y refuerza la conclusión de que el tipo de aceite es un factor determinante en la vida útil del aceite durante la fritura.

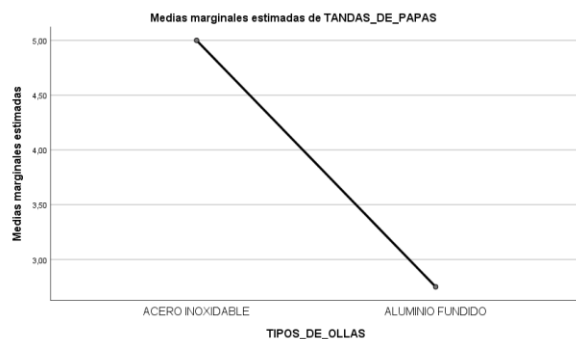


Figura 4: Medias marginales según el tipo de ollas

La Figura 4, muestra las medias marginales estimadas del número de tandas de papas fritas para dos tipos de ollas. Se observa que la olla de acero inoxidable presenta una media marginal significativamente mayor (aproximadamente 5 tandas) en comparación con la olla de aluminio fundido

(aproximadamente 3 tandas). Esto indica que, en promedio, el aceite mantiene su estabilidad por más tandas de fritura cuando se utiliza una olla de acero inoxidable, lo que sugiere una mejor eficiencia térmica y menor degradación del aceite bajo estas condiciones.

Estos resultados refuerzan la importancia del material del recipiente como factor clave en la durabilidad del aceite durante el proceso de fritura.

5.4 Supuestos del Modelo

Para validar la aplicación del modelo factorial Trifactorial, se verificaron los supuestos clásicos del análisis de varianza (ANOVA), [22], [25] y [26]:

1. Normalidad de los residuos:

Las pruebas gráficas (gráficos Q-Q) y la prueba estadística de Shapiro-Wilk indicaron que los residuos de los factores considerados (tipos de aceite, tipos de papa y tipos de ollas) se distribuyen normalmente en ambos niveles de cada factor. Los p_valores superaron el nivel de significancia $\alpha=0.01$, por lo que se acepta la hipótesis de normalidad.

2. Homocedasticidad o igualdad de varianzas:

Mediante pruebas basadas en la mediana, se confirmó que las varianzas de los residuos son homogéneas para cada factor y variable dependiente. Los p_valores fueron mayores que $\alpha=0.01$, validando así el supuesto de homocedasticidad.

3. Independencia de los residuos:

El análisis visual de los gráficos de residuos versus orden experimental mostró dispersión aleatoria sin patrones sistemáticos ni tendencias (embudo, lineales o polinomiales), lo que confirma la independencia de los residuos.

Estos supuestos garantizan la validez del modelo ANOVA Trifactorial aplicado, permitiendo confiar en los resultados y conclusiones obtenidos sobre la influencia de los factores en la degradación del aceite y la productividad en la fritura de papas.

VI. CONCLUSIONES

1. En la influencia del tipo de aceite en la estabilidad térmica y reutilización, se determinó que el aceite de girasol presenta una mayor estabilidad térmica en comparación con el aceite de soya, permitiendo freír un mayor número de tandas antes de alcanzar su punto de humo. Esto sugiere que su composición en ácidos grasos y antioxidantes influye en su resistencia a la degradación térmica, lo que lo convierte en una mejor opción para procesos de fritura prolongados.
2. En el efecto del material de la olla en la duración del aceite, los resultados indican que el uso de ollas de acero inoxidable prolonga la vida útil del aceite en comparación con las ollas de aluminio fundido. El acero inoxidable permite una distribución más uniforme del calor, reduciendo la degradación prematura del aceite y aumentando el número de tandas de fritura. En cambio, el

aluminio fundido, debido a su alta conductividad térmica, acelera la oxidación y disminuye la estabilidad del aceite.

3. En la importancia del punto de humo en la optimización de la fritura, se confirmó que el punto de humo es un parámetro clave en la determinación del límite de reutilización del aceite. La detección visual y los cambios físicos (humo, espuma, coloración y olores rancios) son señales claras de que el aceite ha alcanzado su límite funcional. Controlar este factor es esencial para garantizar un proceso de fritura más seguro y eficiente.
4. Este estudio resalta la importancia de la optimización de los procesos de fritura en la industria alimentaria, permitiendo una gestión más eficiente de los recursos y una reducción en la formación de compuestos nocivos. Además, su aplicación en la educación en ingeniería fortalece la formación en análisis de procesos, control de calidad y diseño experimental, promoviendo la investigación en métodos de cocción más saludables y sostenibles.

Finalmente, esta experiencia no solo fortaleció las capacidades técnicas de los estudiantes, sino que permitió documentar de manera formativa su evolución mediante rúbricas y reflexiones individuales. Al inicio del curso, más del 80% de los alumnos no contaba con experiencia previa en diseño experimental ni en el uso de herramientas estadísticas aplicadas. Sin embargo, al finalizar el proyecto, lograron ejecutar un experimento completo, interpretar resultados de ANOVA y presentar conclusiones sustentadas con base científica. Este avance evidencia un crecimiento significativo en competencias clave como el análisis crítico, la validación de datos y la toma de decisiones fundamentadas, cumpliendo con los objetivos de formación del curso Diseño de Experimentos y aportando valor a su perfil como futuros ingenieros industriales.

RECOMENDACIONES

1. Considerar la incorporación de sensores para medir el punto de humo y mejorar la precisión en la detección de la estabilidad del aceite.
2. Explorar el uso de otros tipos de aceites con mayor estabilidad térmica y evaluar su impacto en la calidad del producto final.
3. Ampliar el estudio con más réplicas y otros factores, como la composición química de los aceites después de múltiples ciclos de fritura.
4. Integrar este tipo de estudios experimentales como práctica regular en cursos como Diseño de Experimentos o Control de Calidad, con el objetivo de fomentar el aprendizaje activo y el desarrollo de competencias profesionales en los estudiantes.
5. Dar continuidad a la documentación y evaluación formativa de los estudiantes mediante rúbricas estructuradas y reflexiones individuales, como herramienta pedagógica clave para monitorear el desarrollo de competencias transversales, tales como el razonamiento estadístico, la autonomía en el análisis de datos y la capacidad de tomar decisiones basadas en evidencia.

Estos hallazgos ofrecen una base científica para la mejora de procesos de fritura en entornos domésticos e industriales, contribuyendo a la producción de alimentos más saludables y sostenibles.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a los alumnos del curso de Diseño de Experimentos 2024-1 de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad Ricardo Palma, cuyo compromiso y dedicación hicieron posible la realización de este estudio. Su entusiasmo por la aplicación de metodologías experimentales y su interés en la optimización de procesos fueron clave para el desarrollo de esta investigación.

Este trabajo representa una aportación significativa al análisis y mejora de procesos industriales. Los alumnos demostraron habilidades para aplicar principios científicos y metodológicos de la Ingeniería Industrial en la resolución de problemas complejos, lo que fortaleció su formación profesional y capacidad analítica.

REFERENCIAS

- [1] Ahmed, Z. A. and Mohammed, N. K., "Investigating Influencing Factors on Acrylamide Content in Fried Potatoes and Mitigating Measures: A Review", *Food Production, Processing and Nutrition*, vol. 6, no. 1, July 2, 2024. DOI: 10.1186/s43014-023-00212-6
- [2] Bachir, N., "Effect of Precursors and Thermal Processing on Acrylamide Formation in Synthetic Potato Models. Validation with Potato Cultivars", July 22, 2024. DOI: 10.5821/dissertation-2117-412155
- [3] Gutiérrez-Flores, I. A., García, H. S., Moran, J. D., Cavazos-Garduño, A. and Serrano-Niño, J. C., "Assessment of Acrolein Development during Frying and Its Relation in Acrylamide Formation", November 7, 2024. DOI: 10.21203/rs.3.rs-5291157/v1
- [4] Pedreschi, F., Mariotti, M. "Production of Contaminants during Thermal Processing in Both Industrial and Home Preparation of Foods". *Present Knowledge in Food Safety*, Elsevier eBooks, pp. 211–17, 2023. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819470-6.00036-6>
- [5] Sanny, M. and Luning, P. A., "Acrylamide in Fried Potato Products". *Acrylamide in Food*. 2nd edition, Elsevier BV, pp. 161–83, 2024. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99119-3.00005-9>
- [6] Manoharan, S., Dubey, P. K., & Sharma, M. "Recent advances in deep-fat frying through pretreatments and edible coating to reduce oil absorption". *Journal of Food Process Engineering*. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14706>
- [7] Batuwita, H., Jayasinghe, J., Marapana, R., Jayasinghe, Ch. "Application of Cations, Acids, and Antioxidants on Mitigating Acrylamide Formation in Food with a Special Focus on Potato and Cereal Based Foods -A Review". *Current Scientia*. 27. 79-92. <http://dx.doi.org/10.31357/vjs.v27i01.7501>
- [8] Alija, D., Xhabiri, G., Baah, R. O., Ziberi, E., Stojanovska, T., Miftari, H., & Luma, R. "The effect of adding different additives on acrylamide content and antioxidant activity of innovative functional cereal products". 7(13–14), 26–34. 2024. <https://doi.org/10.62792/ut.jftn.v7.i13-14.p2685>
- [9] Teli, A. "The best oils for cooking". *Journal of the Scientific Society*, 50(1), 134–135. https://doi.org/10.4103/jss.jss_103_22
- [10] Jibril, H., Abdulkarim, S. M., Iliayau, R., & Abubakar, S. "Factors that influence acrylamide formation in fried foods: a review". *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences*, 8(3b), 55–67. 2022. <https://doi.org/10.4314/dujopas.v8i3b.6>

- [11] Santos, C., García, L., Cunha, S., Casal, S. "Fried potatoes: Impact of prolonged frying in monounsaturated oils". *Food Chemistry*. 243. 2017. 10.1016/j.foodchem.2017.09.117.
- [12] Casaburi, M., Flamini, N., Lettieri, J., Therisod, M., & Stambullian, M. "Revisión bibliográfica sobre la migración de metales y otros elementos desde utensilios de cocina hacia los alimentos". *Revista Nutrición Investiga, Escuela de Nutrición*. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Medicina, Buenos Aires, Argentina. 2019. https://escuelanutricion.fmed.uba.ar/revistanut/pdfs/19a/rb/832_c.pdf
- [13] Puelles-Bulnes, ME. Experimental implementation of the content of the Design of Experiments course for the Industrial Engineer career. LACCEI 21st Int Multi-Conf for Eng Edu and Tech. 2023. doi:10.18687/LACCEI2023-1418
- [14] Puelles-Bulnes, ME, Palma Yancachajlla LF, Canales Huamani JG, Sandoval Lingán PS, Fleitas Marusic JS. Analysis of Visits to the Natural History Museum of Ricardo Palma University Using the T Distribution. LACCEI. 2024. doi:10.18687/LACCEI2024.1.1.1254
- [15] Puelles-Bulnes, ME, Trejo Osorio LY, Bautista Rotondo G, Jiménez Rojas JF, Valderrama de la Cruz MF. Bifactorial Experiment Design on the Physical Performance of a Group of Students of the Ricardo Palma University, Perú. LACCEI. 2024. doi:10.18687/LACCEI2024.1.1.1997
- [16] Puelles-Bulnes, ME, et al. Chemometrics Didactic Experiment for the planning of experiments: Efficiency of Natura perfume brand. Proceedings of the 4TH South American International Engineering and Operations Management Conference. Lima, Perú; 2023. Disponible en: <https://index.icomsociety.org/index.cfm/article/view/ID/12873>
- [17] Puelles-Bulnes, ME, Experimental implementation of the content of the Design of Experiments course for Industrial Engineer career. LACCEI 21st International Multi-Conference for Engineering Education and Technology; 2023. Disponible en: https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution_1418_a.pdf.
- [18] Kochhar, S. P., & Azadmard-Damirchi, S. "Thermal stability of fats for high-temperature applications" (pp. 99–117). 2023. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-15327-3.00010-0>
- [19] Nagy, K., Iacob, B.-C., Bodoki, E., & Oprean, R. "Investigating the Thermal Stability of Omega Fatty Acid-Enriched Vegetable Oils". *Foods*. 2024. <https://doi.org/10.3390/foods13182961>
- [20] Nie, H., Cao, T., Thu, G. T., & Cao, S. T. "Premised research on dietary exposure to benzo[a]pyrene, acrylamide, and N-nitrosodimethylamine from common fried and grilled dishes in North Vietnam". *Tạp Chí Kiểm Nghiệm và An Toàn Thực Phẩm*, 7(4), 613–626. 2024. <https://doi.org/10.47866/2615-9252/vjfc.4421.1>
- [21] Bonet-Sánchez, B., Cabeza-Gil, I., Calvo, B., Grasa, J., Franco, C., Llorente, S., Martínez, M. I. A. "Combined Experimental-Numerical Investigation of the Thermal Efficiency of the Vessel in Domestic Induction Systems". *Mathematics*, 10(5), 802. 2022. <https://doi.org/10.3390/math10050802>
- [21] Manoharan, S., Dubey, P. K., & Sharma, M. "Recent advances in deep-fat frying through pretreatments and edible coating to reduce oil absorption". *Journal of Food Process Engineering*. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14706>
- [22] Montgomery DC. Design and analysis of experiments. 9th ed. USA: Wiley; 2017.
- [23] Gutiérrez Pulido, H., & Vara Salazar, R. de la. (2012). *Análisis y diseño de experimentos / Humberto Gutiérrez Pulido, Román de la Vara Salazar* (3a ed). McGraw-Hill/Interamericana.
- [24] Goos P, Jones B. *Optimal design of experiments: A case study approach*. Chichester: John Wiley & Sons; 2011. Print ISBN: 978-0-470-74461-1. ePDF ISBN: 978-1-119-97400-0. ePub ISBN: 978-1-119-97616-5. <https://doi.org/10.1002/9781119974017.fmatter>
- [25] Maxwell SE, Delaney HD, Kelley K. *Designing experiments and Analyzing Data: A model comparison perspective*. 3rd ed. New York: Routledge; 2017. ISBN: 9781317284550.
- [26] Kuehl RO. *Design of experiments: Statistical principles of research design and analysis*. 2nd ed. Pacific Grove (CA): Duxbury Press; 1999. ISBN: 9780534368340.