

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**OPTIMIZACIÓN DE PROCESO LOCAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ARROZ
INSTANTÁNEO DE ALTA PROTEÍNA UTILIZANDO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE
DE RESPUESTA.**

POR:

DIANA SARAHI TRÓCHEZ MEJÍA

TESIS



CATACAMAS

OLANCHO

MAYO, 2024

**OPTIMIZACIÓN DE PROCESO LOCAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ARROZ
INSTANTÁNEO DE ALTA PROTEÍNA UTILIZANDO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE
DE RESPUESTA.**

POR:

DIANA SARAHI TRÓCHEZ MEJÍA

PhD. MARIO GONZALES

Asesor principal:

INFORME FINAL

TESIS DE GRADO PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

CATACAMAS

OLANCHO

MAYO, 2024

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

Primordialmente a Dios por darme el espíritu de perseverancia para llegar hasta aquí, estoy segura que sin la confianza en él hubiera sido imposible.

A mi madre María Berta Trochez, quien fue mi pilar terrenal en todo momento, apoyándome cuando las cosas no iban bien. Gracias a ella por inculcarme desde siempre a través de su ejemplo a ser valiente y ponerle la cara a las adversidades, y sobre todo a confiar en Dios.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

A mis mentores y profesores por ser un apoyo incondicional en mi formación profesional y formar parte de este proceso.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todas mis amigos y compañeros, por apoyarme cuando más los necesité, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias, siempre los llevare en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, doy gracias a Dios por sus bendiciones y misericordia a lo largo de este extenso recorrido llamado vida, señor tu nunca me has dejado de la mano y siempre me ha dado fuerzas para poder seguir adelante ante cualquier adversidad y sin ti no hubiera podido llegar hasta donde estoy.

Mi profundo agradecimiento y admiración a mis padres y mis hermanos por ser un pilar fundamental en mi vida, por siempre brindarme el apoyo y motivación para siempre poder perseguir mis sueños y nunca darme por vencido.

También quiero expresar mi gratitud hacia LSU Agcenter y la Asociación de UNA's at LSU por permitirme crear experiencias nuevas que contribuyeron a mi conocimiento y formación profesional. Mi más sincero agradecimiento y admiración al Dr. Mario Gonzales, y el Dr. Subramaniam Sathivel por compartir sus conocimientos, por creer en mí y en mis capacidades y permitirme poder trabajar con ellos.

Mi más sincera gratitud a mis compañeros de laboratorio de Biotecnología en LSU por su apoyo en el desarrollo de este proyecto, pero sobre todo por todos los momentos que compartimos y la amistad que seguro conservare en mi corazón

Por último y no menos importante agradecer a mis amigos que estuvieron conmigo durante estos cinco años y siempre me apoyaron y me motivaron a nunca darme por vencido: Ashly Castro, Mauricio López, Miguel Tabora, Alfredo Carias, Jaret Maldonado, Kensy Flores, Andrea Padilla, Celeste Acosta y finalmente un agradecimiento especial a Fidel Paz por todos sus consejos y apoyo incondicional.

CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
CONTENIDO	iii
LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE ECUACIONES	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Generalidades del arroz	4
3.2. Composición nutricional.....	4
3.3. Características y beneficios del arroz Parish	5
3.4. El arroz como fuente de proteína vegetal	5
3.5. Arroz instantáneo.....	6
3.6. Composición nutricional del arroz instantáneo	6
3.7. Principios de la metodología de superficie de respuesta- Box Behnken	7
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	8

4.1.	Lugar de investigación.....	8
4.2.	Materiales y equipo.....	8
4.3.	Preparación de Arroz Instantáneo.....	10
4.4.	Análisis fisicoquímicos del arroz.....	10
	Densidad, radio de rehidratación, aumento de volumen, Índice de blancura	10
4.4.1.	Densidad:	10
4.4.2.	Radio de Rehidratación:	11
4.4.3.	Volumen Incrementado:	11
4.4.4.	Índice de blancura (WI):	12
4.5.	Análisis estadístico	12
4.6.	Diseño experimental	13
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
5.1.	Optimización de la producción de arroz instantáneo.....	19
VI.	CONCLUSIONES.....	22
VIII.	GRÁFICOS DE CONTORNO	24
8.2.	Densidad	25
8.3.	Volumen.....	26
IX.	BIBLIOGRAFIA.....	28
X.	ANEXOS.....	33

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Composición nutricional del arroz.....	4
Tabla 2. Composición nutricional del arroz Parish.....	5
Tabla 3. Composición nutricional del arroz instantáneo.....	6
Tabla 4. Equipo requerido para el desarrollo de la investigación.....	9
Tabla 5. Valores codificados, valores para variables independientes y datos de variables de respuesta	13
Tabla 6. Coeficientes estimados de modelos de regresión ajustados para las respuestas.	14
Tabla 7. Datos obtenidos para las diferentes variables de respuesta	16

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1	11
Ecuación 2	11
Ecuación 3	12
Ecuación 4	12

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para las variables de respuesta.	18
Figura 2. Gráficos de Rehidratación en 2 y 3 dimensiones	24
Figura 3. Gráficos de densidad en 2 y 3 dimensiones	25
Figura 4. Gráficos de volumen en 2 y 3 dimensiones	26
Figura 5. Gráfico de A_w en 2 y 3 dimensiones.....	27

TROCHEZ MEJIA, DS. 2024 Optimización de procesos para la producción de arroz instantáneo de alta proteína utilizando metodología de superficie de respuesta. Tesis de grado, Ingeniero en Tecnología Alimentaria, Universidad Nacional de Agricultura, Catacamas, Olancho, Honduras, C.A. 45 pág.

RESUMEN

La industria alimentaria ha surgido como un campo dinámico en la ciencia buscando satisfacer la demanda sustancial de productos de conveniencia. De esta forma, surge el desarrollo de arroz instantáneo que se caracteriza por su rápido tiempo de cocción en comparación con un arroz tradicional. Este estudio tuvo como objetivo optimizar las condiciones de procesamiento para desarrollar arroz instantáneo a partir de arroz Parish y evaluar sus propiedades fisicoquímicas. Para determinar las condiciones óptimas para la producción de arroz instantáneo, se utilizó la metodología de superficie de respuesta con el diseño Box Behnken. Tres variables independientes de procesamiento con tres niveles cada una fueron seleccionadas para el estudio: pre-cocción (6, 8, y 10 min), congelado (-10,-15, y -20 °C) y secado (50, 60, y 70 °C). Las propiedades fisicoquímicas del arroz (Rehidratación, densidad, volumen, y aW,) del producto terminado fueron analizadas para entender la interacción entre las variables independientes y el efecto de estas interacciones en las propiedades físico-químicas del arroz, permitiendo de esta forma realizar predicciones para la optimización del proceso. Al aplicar el diseño Box-Behnken la combinación más favorable para la producción del arroz instantáneo es: 6 minutos de pre-cocción,-18.1°C de congelación debido a su menor pérdida de humedad y 70°C de secado. Estos parámetros representan la mejor opción en función de los criterios deseados y serán empleados en futuros estudios para la fortificación con probióticos. La metodología de superficie de respuesta con el diseño Box-Behnken facilitaron la optimización del proceso de producción de arroz instantáneo, y la comprensión del efecto del tiempo de cocción, la temperatura de congelación y la temperatura de secado en las propiedades fisicoquímicas del arroz instantáneo.

Palabras claves: Box-Behnken producción, tratamientos, temperatura, humedad.

I. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa*) cuyo cereal se considera seguro para el consumo humano y hace parte de la dieta básica a nivel mundial. se erige como un cultivo básico indispensable, con la mitad de la población mundial dependiendo de él para su sustento diario.(Utama-ang et al., 2022). Proporcionando el 20% del suministro mundial de energía dietética, el arroz juega un papel esencial. En lugares asiáticos específicos, el arroz constituye una proporción abrumadora, superior al 70%, de la ingesta calórica.(Bin Rahman y Zhang, 2023). Es importante destacar que el arroz asume una importancia particular como fuente de alimento básico para las poblaciones empobrecidas y desnutridas en Asia y África, donde el acceso a alimentos nutritivos se ve limitado por limitaciones económicas.(Bin Rahman y Zhang, 2023). En consecuencia, el arroz asume un papel fundamental no solo para garantizar la seguridad alimentaria mundial, sino también para fomentar el crecimiento económico, la participación de la fuerza laboral, el equilibrio social y la estabilidad regional.

No obstante, el estilo de vida acelerado que prevalece ha dado lugar a una demanda sustancial de productos que satisfacen las necesidades, como el arroz instantáneo. El arroz instantáneo se caracteriza por su rápido tiempo de cocción de 3 a 5 minutos, en contraste con la prolongada duración de la cocción del arroz sin procesar, que generalmente toma alrededor de 20 minutos.(Phukasmas y Songsermpong, 2019). El proceso de fabricación del arroz instantáneo implica remojo, tratamiento térmico y deshidratación, mientras que los métodos de congelación y refrigeración han sido identificados como capaces de producir arroz instantáneo de alta calidad. Esta preservación de la calidad se atribuye potencialmente a la mitigación de la retrogradación del almidón, un fenómeno que influye en la textura del arroz.(Tawfik et al., 2019).

La creciente demanda de productos de arroz saludables y convenientes se ve obstaculizada por el alto índice glicémico (IG) del arroz convencional, lo que potencialmente causa problemas de salud.

En este contexto, la producción de arroz instantáneo de índice glicémico bajo (IG) y alta proteína surge como una propuesta innovadora con el potencial de satisfacer la demanda de productos con IG bajos. La metodología de superficie de respuesta (MSR) se presenta como una herramienta valiosa para optimizar el proceso de producción, permitiendo identificar las condiciones óptimas que mejoren las características del producto final.

El objetivo principal del presente estudio fue desarrollar arroz instantáneo a partir de arroz Parish con bajo IG y alto en contenido de proteínas, que fue desarrollado por el Centro de Agricultura de la Universidad Estatal de Luisiana (LSU AgCenter).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Optimización de proceso para la producción de arroz instantáneo de alta proteína utilizando metodología de superficie de respuesta.

2.2. Objetivos específicos

- Optimizar el tiempo de ebullición, la temperatura de congelación y la temperatura de secado en arroz precocido utilizando el diseño Box-Behnken
- Realizar un análisis del máximo: radio de rehidratación, densidad, volumen y una mínima actividad de agua

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Generalidades del arroz

El arroz se erige como un cultivo básico indispensable a nivel mundial, con la mitad de la población mundial dependiendo de él para su sustento diario. (Utama-ang et al., 2022). Proporcionando el 20% del suministro mundial de energía dietética, el arroz juega un papel esencial. En lugares asiáticos específicos, el arroz constituye una proporción abrumadora, superior al 70%, de la ingesta calórica. (Bin Rahman y Zhang, 2023)

3.2. Composición nutricional

De acuerdo con (Moreiras, et al., 2013) el arroz es rico en almidón que se compone (tabla 1) de amilosa y amilopectina, siendo la proporción de cada una la que determina las características culinarias del producto. A mayor proporción de amilopectina, más viscosa y pegajosa estarán los granos entre sí. Tiene un pequeño aporte de proteínas (7%), y contiene cantidades notables de niacina o vitamina B3 y vitamina B6. Sin embargo, en la práctica, con su refinamiento y pulido, se pierde hasta el 50% de su contenido en minerales y el 85 % de las vitaminas del grupo B (p. 48)

Tabla 1. Composición nutricional del arroz.

Componente	Contenido
Energía (kcal) (g)	381
Proteínas (g)	7
Lípidos (g)	0,9
Carbohidratos (g)	86
Fibra (g)	0,2
Agua (g)	5,9

Fuente: (Moreiras, et al., 2013)

3.3. Características y beneficios del arroz Parish

La Universidad Estatal de Luisiana, quien fue el centro que sirvió de base para la creación de la variedad de arroz Parish, que tiene características excepcionales. Esta variedad, también conocida como "Frontière", tiene el índice glicémico más bajo de todos los arroces y tiene un contenido de proteína de un 53 % (tabla 2) más alto que el arroz normal. Parish Rice mejora el perfil nutricional general del arroz y es una opción más saludable y nutritiva, especialmente para personas con prediabetes o diabetes. Esta variedad se cultiva en granjas en Illinois y Luisiana y se vende como "arroz parisino" y "arroz cahokia". Según los investigadores de arroz de LSU AgCenter Ida Wenefrida y Herry Utomo. Esta variedad se desarrolló después de 7 años de investigación utilizando métodos tradicionales de mejoramiento genético para obtener un arroz con bajo índice glicémico. (Boyd, 2021)

Tabla 2. Composición nutricional del arroz Parish

Componente	Contenido
Kcalorías (g)	160
Proteínas (g)	10
Grasas (g)	0
Carbohidratos (g)	34
Fibra (g)	0,8

Fuente: (<https://parishrice.com/>)

3.4. El arroz como fuente de proteína vegetal

La disponibilidad de fuentes proteicas vegetales junto con la tendencia a reducir la ingesta de proteínas animales, hace que en los últimos años se esté produciendo un gran desarrollo en los procesos de extracción y mejora de proteínas vegetales para su uso en la alimentación humana.(Pincioli, 2010) El arroz, la vía más conveniente y simple para obtener productos de alto contenido proteico, con la ventaja de que permite su inclusión en formulaciones adecuadas a distintos requerimientos, ya sea para personas con alteraciones de salud específicas o proporcionando beneficios a personas con un alto nivel de colesterol o triglicéridos en sangre. (Vioque et al, 2001-01-01)

3.5. Arroz instantáneo

El arroz instantáneo también conocido como arroz pre cocido, es un tipo de arroz que ha sido parcialmente cocido y luego cuidadosamente deshidratado hasta que el contenido de humedad es del 12% o menos. Se diferencia del arroz tradicional en que requiere menos tiempo y atención para cocinarse. A pesar de sus beneficios en nutrientes y antioxidantes naturales, el arroz instantáneo es el de menor consumo, por lo que últimamente ha habido gran interés en su consumo como alimento saludable. (Patsakul & Songsermpong, 2019)

3.6. Composición nutricional del arroz instantáneo

De acuerdo al valor nutricional mencionado según (Atoche Chunga et al., 2020) el arroz instantáneo es (tabla 2) alto en carbohidratos y calorías, bajo en grasas y proteínas. Además, algunos tipos de arroz instantáneos pueden contener sodio.

Tabla 3. Composición nutricional del arroz instantáneo

Componente	Contenido
-------------------	------------------

Kcalorias (g)	387
Proteínas (g)	5,8
Grasas (g)	0,7
Carbohidratos (g)	85,2
Fibra (g)	0,8

Fuente: (Atoche Chunga et al., 2020)

3.7. Principios de la metodología de superficie de respuesta- Box Behnken

La metodología de superficie de respuesta (MSR) es la estrategia experimental y de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, es decir, aquellas que dan por resultado “valores óptimos” de una o varias características de calidad del producto. (Gutierrez Pulido & Salazar, 2008). Según (Delzo-Salomé, Huari-Vila, & Salazar-Mercado, dic. 2021) este diseño de superficie de respuesta Box-Behnken es un método estadístico valioso para explorar y optimizar procesos que involucran múltiples variables. Es particularmente útil cuando se desea modelar la relación entre las variables y una respuesta deseada, especialmente cuando la relación es compleja y no lineal.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Lugar de investigación

El presente trabajo de investigación se realizó en el departamento de nutrición y ciencia de los alimentos de la Universidad Estatal de Luisiana (LSU) ubicada en la ciudad de Baton Rouge, estado de Luisiana, Estados Unidos. Los laboratorios LSU AgCenter utilizados fueron el laboratorio de Biotecnología ubicado en Harry D Wilson, Baton Rouge, LA 70808.



4.2. Materiales y equipo

La variedad de arroz parroquial, desarrollada por los investigadores del Centro Agrícola de la Universidad Estatal de Luisiana, (AgCenter). Louisiana, Estados Unidos, sirvió como base para

el desarrollo del arroz instantáneo. Es una variedad de arroz de bajo índice glicémico y alto contenido de proteínas desarrollado para aplicaciones comerciales en cualquier parte del mundo.

El arroz fue almacenado a temperatura ambiente (entre 20-25 °C) en envases herméticos para preservar su calidad y frescura durante el tiempo que se llevó a cabo la investigación. El arroz fue tratado con agua destilada (DW) para el remojo y pre-cocción, seguido se realizó el proceso de secado a contracorriente en flujo convección de aire con calor seco en un deshidratador eléctrico (Excalibur) de bandejas de plástico y control de los distintos tiempos y temperaturas, por 2 horas.

Todos los materiales empleados cumplieron estrictos estándares de pureza y calidad alimentaria.

Tabla 4. Equipo requerido para el desarrollo de la investigación

Equipo	Descripción
Deshidratador (Excalibur)	Empleado para el deshidratado de los granos de arroz
Refrigerador (Avid Armor Chamber)	Se utilizó para el congelamiento de las muestras
Microondas (Techtongda)	Necesario para realizar la rehidratación del arroz con DW
Horno de aire caliente (VWR)	Se utilizó para medir la humedad del arroz
Estufa (Panasonic, Sr-Ka22fa,745w)	Sirvió para la pre-cocción de los distintos tratamientos
Espectrofotómetro (CM-3630, PTA)	Se usó para medir el índice de blancura del arroz
Par Termoeléctrico	Fue necesario para medir los rangos de temperaturas del refrigerador

Equipo complementario: Balanza analítica, termómetro, Beaker, olla, guantes, gabacha.

4.3. Preparación de Arroz Instantáneo

Un kilogramo de arroz Parish se sometió a lavado con agua destilada (DW) y posterior remojo durante 5 minutos en una proporción de una parte de arroz por 2 partes de DW (w/v). Luego, el arroz remojado se sometió a una pre-cocción en agua con una proporción de arroz a agua de 1:2 durante duraciones variables definidas en estudios preliminares de 6, 8 y 10 minutos, a 90-100°C seguido de pre-cocción a fuego lento con una temperatura que oscilo en los 60-70°C durante 10 minutos.

La muestra cocida se lavó en agua fría (4°C) y se congeló a tres temperaturas de congelación diferentes: -10°C, -15°C y -20°C durante cuatro horas en un congelador de aire comprimido con una velocidad del aire de $3,2. \pm 1,2$ m/s. Posteriormente, la muestra congelada se descongeló a 4°C durante 2 horas y se secó en un horno de aire caliente a tres diferentes temperaturas: 50°C, 60°C y 70°C hasta que el contenido de humedad alcanzó alrededor del 5%. Luego, el arroz instantáneo seco preparado se mezcló con DW en una proporción de 1:5, se calentó en el microondas durante duraciones variables de 90, 120 y 150 segundos, seguido de drenar el exceso de agua durante 5 minutos y se analizó la proporción de rehidratación, volumen, densidad e índice de blancura.

4.4. Análisis fisicoquímicos del arroz

Densidad, radio de rehidratación, aumento de volumen, Índice de blancura

4.4.1. Densidad:

Se colocaron 20 gramos de arroz instantáneo en un recipiente cilíndrico de 100 mL posteriormente se golpeó repetidas veces (10-20) con el fin de lograr una compresión uniforme de los granos. Seguidamente se registró el volumen. La densidad se determinó a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso de arroz instantáneo (g)}}{\text{Volumen de arroz instantáneo (ml)}}$$

4.4.2. Radio de Rehidratación:

El radio de rehidratación se llevó a cabo pesando 20 gramos de arroz instantáneo deshidratado. Luego, se mezcló con agua destilada (DW) en una proporción de 1:5, se calentó en el microondas durante duraciones variables de 90, 120 y 150 segundos, seguido de drenar el exceso de agua durante 5 minutos y se analizó la proporción de rehidratación. El radio de rehidratación se determinó con el peso del arroz antes y después del cocinado.

Ecuación 2

$$\text{Radio de Rehidratación} = \frac{\text{Peso de arroz instantáneo después del cocinado (g)}}{\text{Peso de arroz instantáneo antes del cocinado (g)}}$$

4.4.3. Volumen Incrementado:

Utilizando un cilindro graduado de 500 ml se midió el volumen incrementado del arroz antes y después de la cocción en el microondas con las variaciones de 90, 120 y 150 segundos con 250 ml de agua destilada (DW). El volumen incrementado se determinó por diferencia de volumen. Mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3

$$\text{Volumen Incrementado} = \frac{\text{Volumen de arroz después de cocinado (ml)}}{\text{Volumen de arroz antes del cocinado (ml)}}$$

4.4.4. Índice de blancura (WI):

La blancura del arroz rehidratado se midió utilizando un espectrofotómetro compacto de doble haz (modelo CM-3630, PTA). La medición fue basado en el sistema Hunter con valores de color de L*, a* y b*. Las mediciones se hicieron con 3 réplicas para cada tratamiento.

El índice de blancura se calculó de la siguiente forma:

Ecuación 4

$$\text{Índice de blancura} = 100 - \left[(100 - L)^2 + a^2 + b^2 \right]^{0.5}.$$

4.5. Análisis estadístico

La configuración experimental siguió un diseño de bloques aleatorios (RBD) factorial simétrico 3 × 3, y presentando tres repeticiones. Las diferencias de medias se analizaron utilizando la nueva prueba de rango múltiple de Duncan con la ayuda de SPSS para Windows 14.0. Los datos fueron analizados estadísticamente (p<0,05) para los efectos principales (tratamientos, temperatura, tiempo).

4.6. Diseño experimental

Se utilizó un nivel de relación arroz-agua (2.0% w/v) con una potencia de (8 W) de microondas con 3 duraciones de 90, 120 y 150 segundos, y temperaturas de secado de 50, 60 y 70 °C. El diseño consta de 15 tratamientos experimentales con 3 variables independientes: pre-cocción, congelado y secado y su relación con las variables de respuesta, se usaron 3 niveles para cada factor que consistieron en la combinación de distintos tiempos de cocción (6, 8 y 10) y temperaturas de congelado (-10, -15 y -20).

Los tratamientos corridos se diseñaron mediante el modelo de superficie de respuesta (MSR) Box-Behnken con el propósito de lograr la mejor combinación mediante la optimización de 15 tratamientos (tabla 5) en las distintas combinaciones para las variables independientes y las variables de respuesta.

Tabla 5. Valores codificados, valores para variables independientes y datos de variables de respuesta

Run	Code value			Real value			Responses					
	Pre-cocción	Congelado	Secado	Pre-cocción	Congelado	Secado	Humedad	Densidad	Rehidratación	Volumen	aW	WI
1	0	-1	1	8	-20	70	2.07	1.00	4.33	3.87	0.06	73.53
2	0	0	0	8	-15	60	4.87	1.07	3.84	3.92	0.12	75.51
3	0	1	-1	8	-10	50	5.17	0.94	4.39	3.87	0.13	75.61
4	0	1	1	8	-10	70	0.46	0.91	5.22	4.42	0.05	74.96
5	-1	0	-1	6	-15	50	3.44	1.10	4.83	5.08	0.21	78.22
6	0	-1	-1	8	-20	50	2.77	0.95	4.66	4.15	0.10	73.81
7	-1	0	1	6	-15	70	1.79	1.12	5.47	5.61	0.08	72.43
8	0	0	0	8	-15	60	4.87	1.07	3.84	3.92	0.12	75.51
9	-1	1	0	6	-10	60	5.11	1.13	3.75	3.77	0.16	78.46
10	0	0	0	8	-15	60	4.87	1.07	3.84	3.92	0.12	75.51
11	1	-1	0	10	-20	60	4.51	1.02	4.11	4.04	0.15	77.33
12	-1	-1	0	6	-20	60	4.72	1.11	5.12	5.34	0.17	76.37
13	1	0	-1	10	-15	50	6.53	0.98	3.98	3.60	0.17	75.40
14	1	0	1	10	-15	70	2.86	0.92	4.70	4.16	0.07	74.77
15	1	1	0	10	-10	60	5.11	0.95	3.94	3.43	0.15	75.14

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla proporcionada muestra los resultados de un diseño de superficie de respuesta Box-Behnken. Se identifican los 3 factores independientes que se evaluaron en el estudio: Pre-cocción (A), Congelado (B) y Secado (C). Los niveles de los factores fueron: bajos (-1), medios (0) y altos (1) de cada factor. Así mismo, se detallan los P-valor (0,05) de cada factor para cada experimento para las 15 combinaciones experimentales del diseño Box-Behnken.

Tabla 6. Coeficientes estimados de modelos de regresión ajustados para las respuestas.

P valor							
Model	Humedad	Densidad	Rehidratación	Volumen	aW	WI	
	Quadratic	Quadratic	Quadratic	Quadratic	Quadratic	Quadratic	
R	88.01	82.71	68.97	67.57	91.68	58.53	
R²	84.93	78.27	60.99	59.23	89.54	47.87	
Pre-cocción	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.230	
Congelado	0.088	0.023	0.158	0.015	0.671	0.185	
Secado	0.000	0.872	0.007	0.078	0.000	0.003	
Pre-cocción*Pre-cocción	0.001	0.002	0.021	0.002	0.000	0.002	
Congelado*Congelado	0.087	0.001	0.114	0.613	0.974	0.124	
Secado*Secado	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.032	
Pre-cocción*Congelado	0.772	0.064	0.014	0.078	0.841	0.013	
Pre-cocción*Secado	0.008	0.055	0.880	0.695	0.115	0.003	
Congelado*Secado	0.000	0.118	0.016	0.123	0.051	0.826	
Total model	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

Como se puede observar en la Tabla 6, todas las variables de respuesta se ajustan a un modelo de regresión cuadrático. En general, los valores obtenidos de R^2 muestran una importante correlación entre los tres factores estudiados y las distintas variables de respuesta. La correlación (R^2) más alta se obtuvo con la variable de respuesta aW (89.54), seguido de humedad (84.93), densidad (78.27), y radio de rehidratación (60.99). Aparte de la importancia de estas variables de respuesta en relación a nuestros objetivos para el proceso de optimización -que será explicado en las secciones posteriores-, el contar con los valores de R^2 mas alto fue determinante para su selección en el proceso de modelación. Adicionalmente, el efecto de las distintas variables independientes y sus interacciones en las variables de respuesta, puede ser observado mediante su nivel de significancia ($p < 0.05$). El efecto individual de la pre-cocción fue significativo ($p < 0.05$) en todas las variables de respuesta a excepción del índice de blancura. El congelado por sí mismo, solamente tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) en la densidad y el incremento de volumen. Respecto al secado, el efecto fue significativo ($p < 0.05$) en todas las variables de respuesta a excepción de la densidad y volumen. Respecto al efecto combinado de las variables independientes pre-cocción*congelado, tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) en el radio de rehidratación y el índice de blancura, no hubo un efecto significativo ($p > 0.05$) en la humedad, densidad, incremento de volumen, y actividad de agua. En cuanto a la combinación pre-cocción*secado, se observó un efecto significativo ($p < 0.05$) en la variable de respuesta humedad e índice de blancura. Finalmente, la interacción de las variables independientes congelado*secado mostró un efecto significativo en las variables de respuesta humedad y radio de rehidratación

La tabla siguiente presenta valores de acuerdo a los parámetros de las medias y varianzas de las variables de respuesta evaluadas en 15 tratamientos distintos. Las variables analizadas incluyen humedad, densidad, rehidratación, volumen y aW. El objetivo de esta evaluación fue determinar los cambios inducidos en el arroz instantáneo por cada tratamiento y establecer la combinación óptima de parámetros para optimizar sus propiedades.

Tabla 7. Datos obtenidos para las diferentes variables de respuesta

Humedad	Densidad	Rehidratación	Volumen	aW
2.07±0.30	1.00± 0.01	4.33±0.43	3.87±0.46	0.06±0.01
4.87±0.40	1.07±0.03	3.84±0.40	3.92±0.31	0.12±0.01
5.17±0.10	0.94±0.04	4.39±0.43	3.87±0.42	0.13±0.00
0.46±0.13	0.91±0.05	5.22±0.37	4.42±0.50	0.05±0.01
3.44±0.77	1.1±0.02	4.83±0.22	5.08±0.05	0.21±0.01
2.77±0.23	0.95±0.03	4.66±0.35	4.15±0.31	0.1±0.00
1.79±0.71	1.12±0.05	5.47±0.07	5.61±0.31	0.08±0.01
4.87±0.29	1.07±0.02	3.84±0.17	3.92±0.26	0.12±0.01
5.11±0.34	1.13±0.05	3.75±0.41	3.77±0.68	0.16±0.01
4.87±0.01	1.07±0.02	3.84±0.28	3.92±0.20	0.12±0.00
4.51±0.23	1.02±0.09	4.11±0.48	4.04±0.20	0.15±0.00
4.72±0.11	1.11±0.01	5.12±0.24	5.34±0.25	0.17±0.01
6.53±0.24	0.98±0.03	3.98±0.26	3.6±0.29	0.17±0.00
2.86±0.12	0.92±0.00	4.7±0.30	4.16±0.38	0.07±0.01
5.11±0.30	0.95±0.03	3.94±0.19	3.43±0.27	0.15±0.01

En la figura 1 se pueden observar el efecto estandarizado de los factores sobre las variables de respuesta de una forma más grafica mediante los diagramas de Pareto. Las barras representan el valor t de todos los coeficientes acumulados de los modelos de regresión para cada una de las variables. El limite indicado por la línea punteada de 2.03 es el valor t correspondiente para el nivel de significancia de 0.05. Las barras sobre el limite indican un efecto significativo de los factores descritos por las letras A: Pre-cocción, B: Congelado, C: Secado, y sus distintas combinaciones.

Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados

(Respuesta es la humedad, $\alpha= 0.05$)

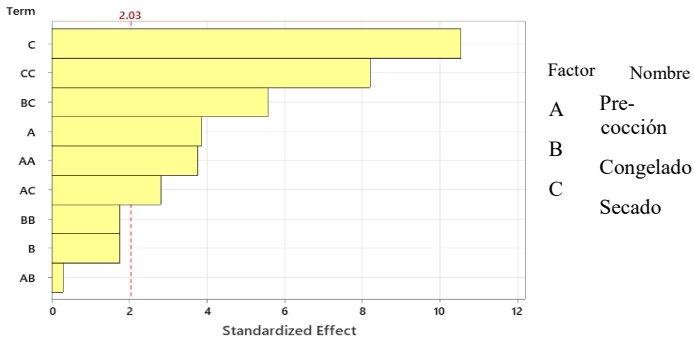


Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados

(Respuesta es la rehidratación, $\alpha= 0.05$)

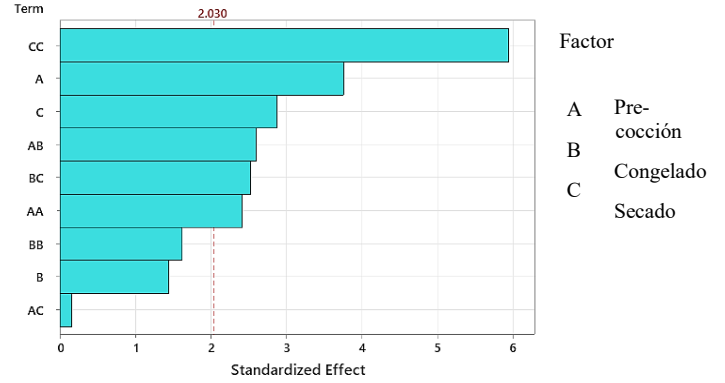


Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados

(Respuesta es la densidad, $\alpha= 0.05$)

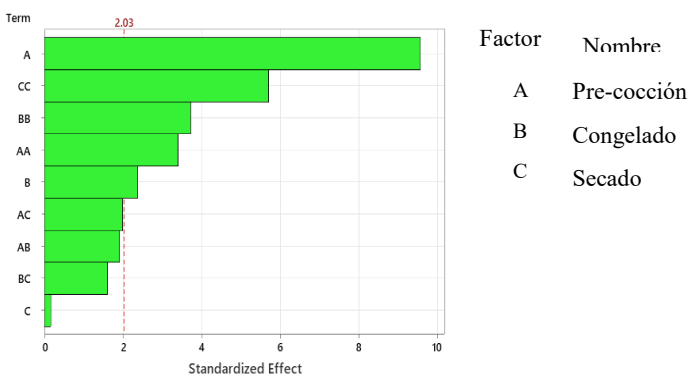


Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados

(Respuesta es el volumen, $\alpha= 0.05$)

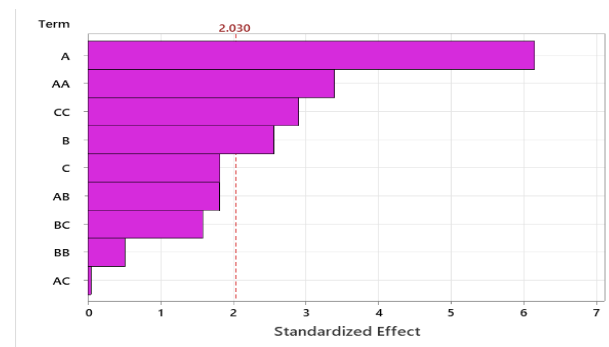


Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados

(Respuesta es el aW, $\alpha= 0.05$)

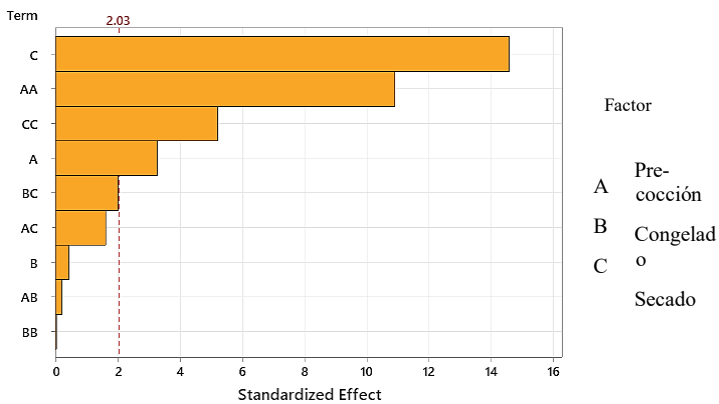


Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados

(Respuesta es el WI, $\alpha= 0.05$)

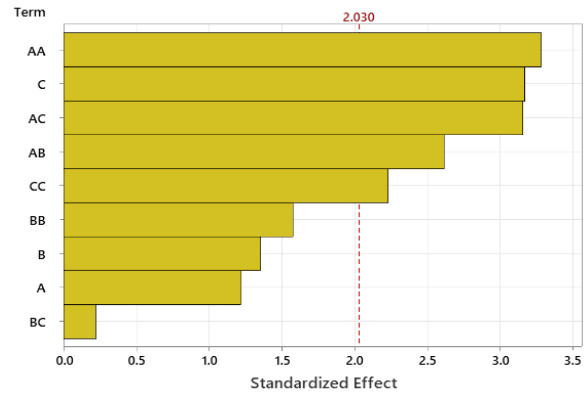


Figura 1. Diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para las variables de respuesta.

En la producción de arroz instantáneo, el comportamiento de las variables de respuesta en relación a las variables independientes va a depender en gran manera de las condiciones del proceso, las cuales se definen según las características del producto final que se quiera obtener. En el presente estudio, por ejemplo, se buscó obtener un arroz instantáneo con un porcentaje de humedad más bajo (< 5 %) que algunas de las marcas actuales que se encuentran en el mercado (10-12 %). Con el objetivo de prescindir del uso de preservantes. Sin embargo, aunque los procesos de producción varían dependiendo de los objetivos específicos que se quieran lograr, el comportamiento de las variables de respuesta en función de las variables independientes es similar. Las investigaciones en optimización de procesos para la producción de arroz instantáneo son limitadas, no obstante, algunos autores han utilizado anteriormente la metodología de superficie de respuesta para predecir la variable de salida en función de las variables de entrada. En un estudio desarrollado por Le & Jittanit, (2015) en el que se optimizó el proceso de producción de arroz integral en función de tres variables independientes: radio agua-arroz, nivel de potencia de microondas, y temperatura de aire caliente, utilizando el diseño Box Benkhen; valores similares a los de la presente investigación se encontraron para R^2 , en variables de respuesta como ratio de rehidratación (50.39). Otros diseños como el Compuesto Central (DCC) utilizado por Prasert & Suwannaporn, (2009) para la optimización de arroz instantáneo, fueron exitosamente implementados para estudiar el comportamiento de las variables de respuesta (dureza, masticabilidad, índice de blancura, densidad, radio de rehidratación, incremento de volumen, índice de blancura) en función de factores de procesamiento similares a los del presente estudio: humedad del arroz, presión (el método de cocción utilizado fue eléctrico), y temperatura de secado.

Tabla 7. Óptimas condiciones para futuros estudios en la preparación de arroz instantáneo

	PRE- COCCIÓN	CONGELADO	SECADO
MÁXIMO	10	-10.0	70.0
ÓPTIMO	6.0	-18.8	70.0
MÍNIMO	6.0	-20.0	50.0

Se determinó que: 6.0 minutos era el tiempo óptimo de cocción, no se observó diferencia significativa ($p=0,24$) en la pérdida de humedad por debajo de -10°C (0,27%), -15°C (0,19%) y -20°C (0,18%), y se seleccionó -18°C como la temperatura de congelación óptima debido a su menor pérdida de humedad en comparación con -10°C . Y un valor óptimo de secado de 70°C .

Con estos resultados óptimos de los factores principales se pueden hacer proyecciones que van en valores máximos de: rehidratación, densidad, volumen y una mínima actividad de agua que se verán reflejados en tabla (8)

5.1. Optimización de la producción de arroz instantáneo

La siguiente tabla (8) presenta las cuatro variables seleccionadas, junto con sus valores máximos y mínimos obtenidos en los 15 tratamientos realizados para los estudios de optimización de arroz instantáneo.

Selección de variables:

- **Máxima rehidratación:** Se buscó la mayor capacidad del arroz instantáneo para absorber agua y rehidratarse adecuadamente durante el proceso de preparación buscando así mayor volumen en la proporción del grano.
- **Máxima densidad posible:** Se seleccionó la máxima densidad posible (1.18), considerando que cuanto mayor es la densidad producida implica una menor cantidad de huecos en el grano, lo que a su vez se asocia con una mayor porosidad si la densidad es menor. Esta condición está en consonancia con los resultados obtenidos por (Sasmitaloka et al., 2019)
- **Mínima aW:** Dentro de las variables seleccionadas para la optimización del arroz instantáneo, se consideró la actividad de agua con valores mínimos. Esta decisión se basa en que una menor cantidad de agua en el producto se asocia con una mayor vida útil en anaquel y la eliminación de la necesidad de conservantes artificiales.

Tabla 8. Selección de variables para la optimización del arroz instantáneo

Variables	Mínimo	Máximo	Predictivo
Rehidratación	3.34	5.57	5.42
Densidad	0.91	1.18	1.12
Volumen	3.10	5.88	5.49
aW	0.05	0.21	0.10

El modelo fue alimentado con los datos obtenidos de los tratamientos con base en los criterios de absorción máxima de agua (5.5700%), densidad máxima (1.180) expansión de volumen (5,88%) y una mínima aW (0.2100)

Los valores predictivos explica que al momento de llevar a cabo la combinación óptima de los factores explicados en la tabla 7 esos serán los valores que se obtendrán para: rehidratación (5.42), densidad (1.12) volumen (5.49) y un valor mínimo para actividad de agua (0.10).

VI. CONCLUSIONES

- ⌘ La metodología de superficie de respuesta con Box Behnken Design se aplicó con éxito para comprender el efecto del tiempo de cocción, la temperatura de congelación y la temperatura de secado en las propiedades fisicoquímicas del arroz instantáneo.

- ⌘ Según el diseño de Box Behnken, las condiciones óptimas para desarrollar el arroz instantáneo fueron *Pre-cocción 6,0 min, Temperatura de Congelación -18,1 °C, temperatura de Secado 70 °C*.

- ⌘ El análisis máximo de los parámetros de calidad del arroz instantáneo de alta proteína permitió identificar las condiciones óptimas para la producción que fueron: rehidratación, (5.42) densidad, (1.12) volumen (5.49) y una mínima actividad de agua (0.10).

VII. RECOMENDACIONES

- ⌘ Considerar las propiedades de cocción del arroz, como la gelatinización del almidón y la retención de agua, para garantizar una adecuada rehidratación y textura del arroz instantáneo.

- ⌘ Evaluar el color y el sabor del arroz instantáneo cocido para garantizar características sensoriales aceptables para los consumidores.

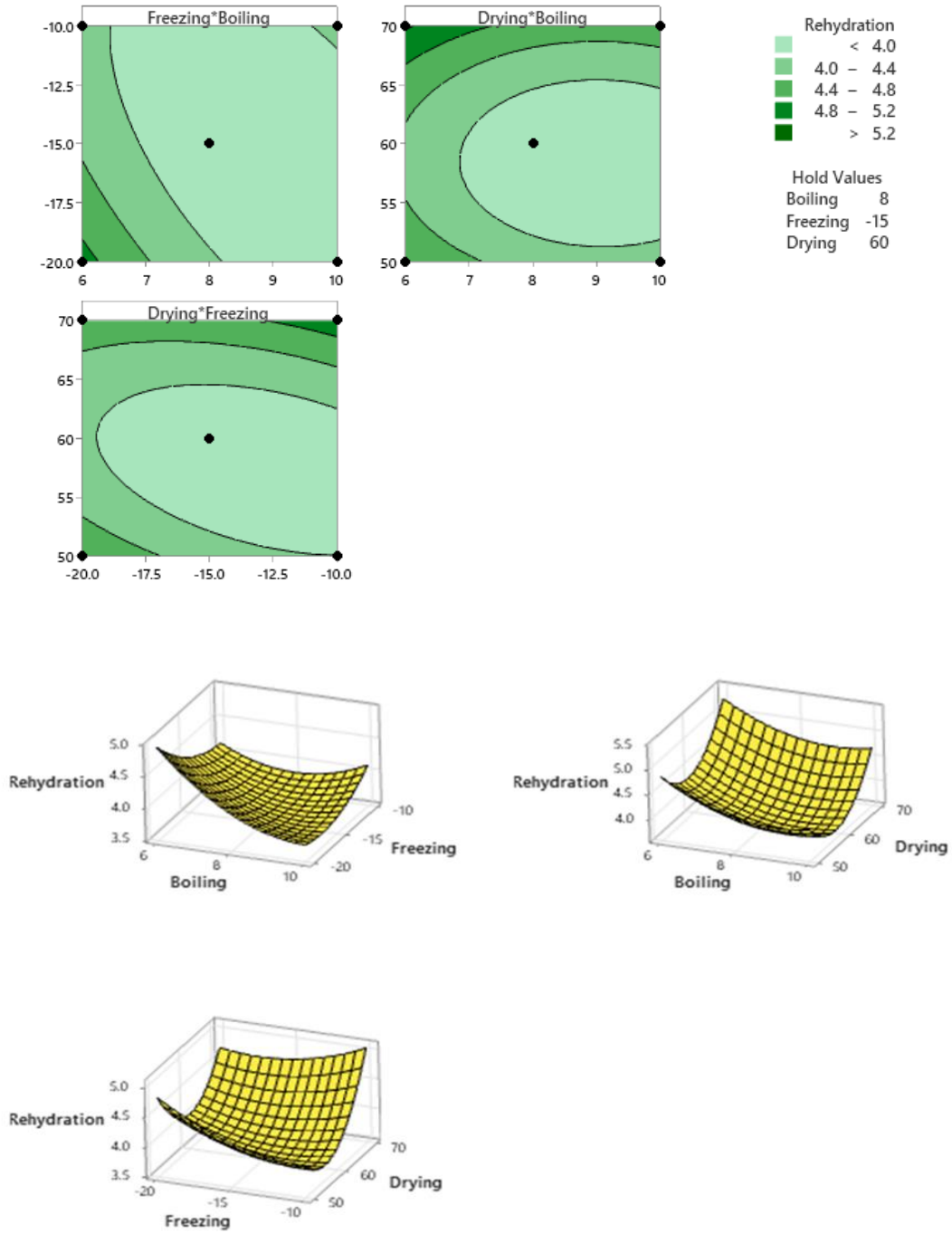
- ⌘ Asegurar que el proceso optimizado sea escalable a nivel industrial para una producción eficiente y rentable de arroz instantáneo de alta proteína.

- ⌘ Llevar a cabo el experimento de encapsulación de probióticos con las condiciones optimizadas para desarrollar el arroz instantáneo.

VIII. GRÁFICOS DE CONTORNO

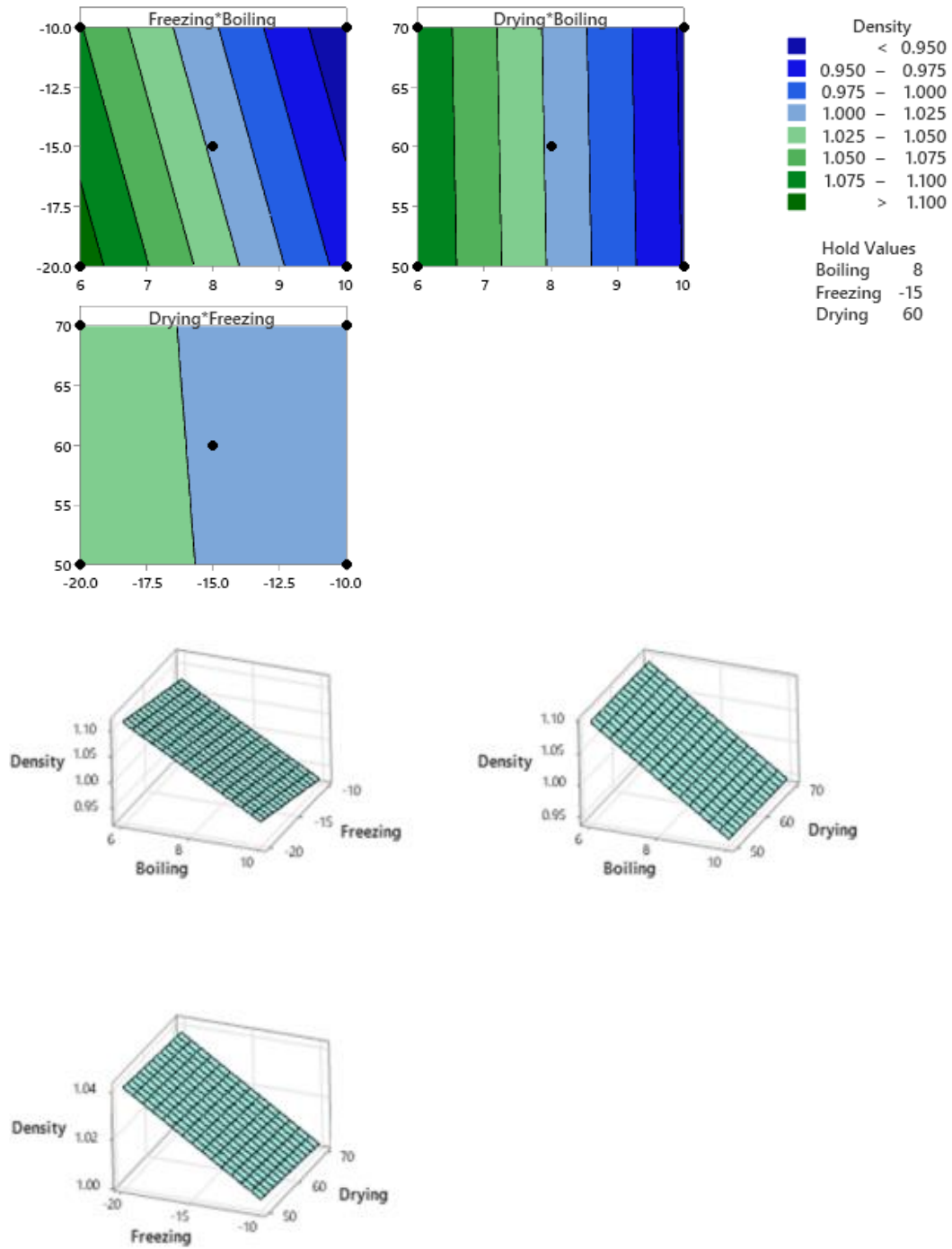
8.1. Rehidratación

Figura 2. Gráficos de Rehidratación en 2 y 3 dimensiones



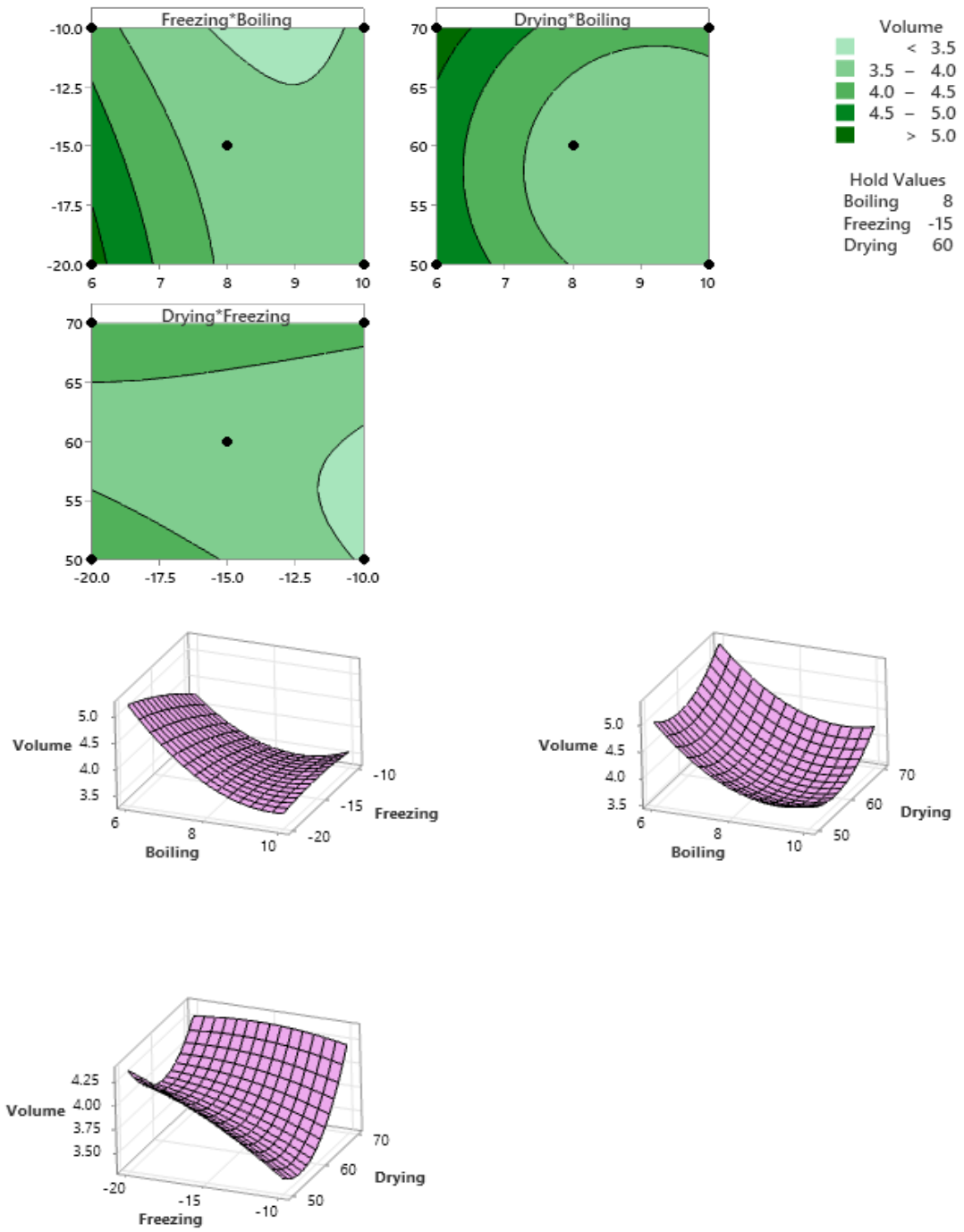
8.2. Densidad

Figura 3. Gráficos de densidad en 2 y 3 dimensiones



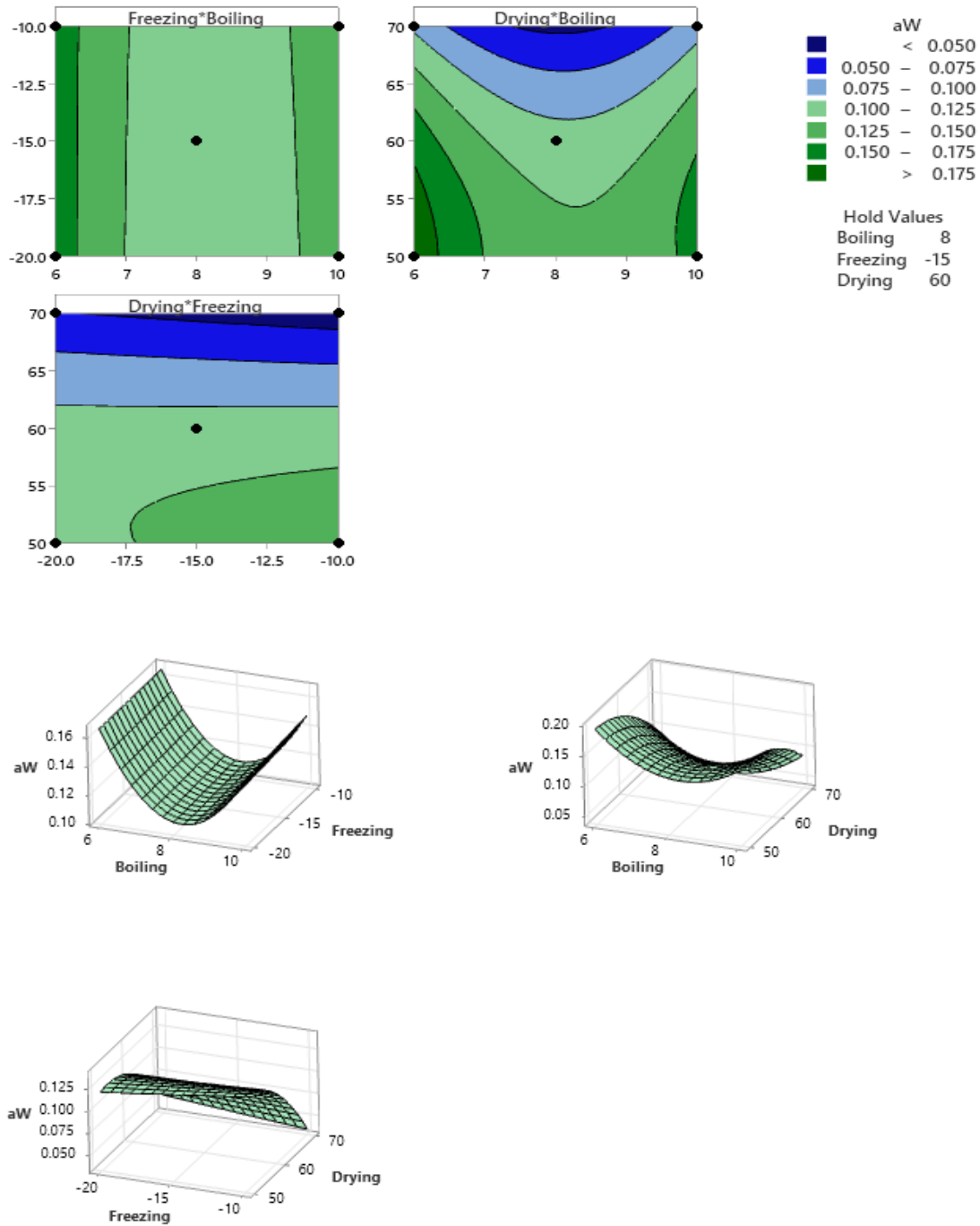
8.3. Volumen

Figura 4. Gráficos de volumen en 2 y 3 dimensiones



8.4. Actividad de agua (Aw)

Figura 5. Gráfico de Aw en 2 y 3 dimensiones



IX. BIBLIOGRAFIA

Amornrat , M., Vichai Domrongpökkaphan, V., Kaewpanya, L., Khemkhao, M., & Sumonsir, N. (26 de Noviembre de 2021). Factores que afectan la producción de fermentados simbióticos comprimidos de leche que contienen alcachofa de Jerusalén en polvo y *Lacticaseibacillus casei* TISTR 1463. *Food processing and preservation*. doi:10.1111/jfpp.16153

Alzamora, S. M., Guerrero, S. N., Nieto, A. B., & Vidales, S. L. (2004). Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. (O. A. Danilo J. Mejía L. (Ph.D), Ed.) *Manual de Capacitación*.

Atoche Chunga, J., Basauri Figueroa, C., García Abanto, J., & Rivera Bonilla, F. y. (2020). *Producción y comercialización de arroz integral precocido instantáneo*. Universidad San Ignacio de Loyola., Lima, Peru. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14005/11066>

Bin Rahman, ANMR y Zhang, J. (2023). Tendencias en la investigación del arroz: 2030 y más allá. En *Seguridad Alimentaria y Energética* (Vol. 12, Número 2). <https://doi.org/10.1002/fes3.390>

Chan, MZA y Liu, SQ (2022). Las infusiones de café como matrices alimentarias para la entrega de probióticos: oportunidades, desafíos y beneficios potenciales para la salud. En *Tendencias en Ciencia y Tecnología de los Alimentos* (Vol. 119). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.030>

Figuerola, F., & Loreto, R. (2000). *Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala*. Santiago, Chile. Jia-Yang, L., & et al. (Diciembre 2014). The 3,000 rice genomes project: new opportunities and challenges for future rice research. *GigaScience*.

GN, A. (2018). Impregnación al Vacío: Aplicaciones en la Industria Alimentaria. *Revista internacional de tecnología de alimentos y fermentación*, 8 (2). <https://doi.org/10.30954/22779396.02.2018.3>

IGEM. (2009). Probióticos en la Industria Alimentaria. *Salud mundial*.

Kechagia, M., Basoulis, D., Konstantopoulou, S., Dimitriadi, D., Gyftopoulou, K., Skarmoutsou,

N. y Fakiri, EM (2013). Beneficios para la salud de los probióticos: una revisión. *ISRN Nutrición*, 2013. <https://doi.org/10.5402/2013/481651>

Krasaekoopt, W. y Suthanwong, B. (2008). Impregnación al vacío de probióticos en piezas de fruta y su supervivencia durante el almacenamiento refrigerado. *Kasetsart Journal - Ciencias Naturales*, 42(4).

Min, M., Bunt, CR, Mason, SL y Hussain, MA (2019). Productos alimenticios probióticos no lácteos: un grupo emergente de alimentos funcionales. En *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 59, Número 16). <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1462760>

Moreiras, O., Carbajal, Á., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2013). *Tabla de composición de alimentos*. Madrid: PIRAMIDE.

Ossa Montoya, V., Gil, M., & Cortés, M. (10 de Mayo de 2023). Impregnación al vacío y sus parámetros operativos. 26. Obtenido de <https://doi.org/10.22430/22565337.2605>

Phukasmas, P. y Songsermpong, S. (2019). Desarrollo del proceso de arroz instantáneo: efecto de los métodos de cocción del arroz en la calidad del arroz instantáneo jazmín secado en horno microondas industrial. *Revista de Microbiología, Biotecnología y Ciencias de la Alimentación*, 9(2). <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2019.9.2.330-334>

Saad, N., Delattre, C., Urdaci, M., Schmitter, JM y Bressollier, P. (2013). Una visión general de los últimos avances en el campo de los probióticos y prebióticos. En *LWT - Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.014>

Tawfik, MM, Mohammed, AT y El-Hadidie, ST (2019). Elaboración y Evaluación de Arroz Instantáneo. *Revista mundial de ciencias de la alimentación y los productos lácteos*, 14(1), 59–70. <https://doi.org/10.5829/idosi.wjdfs.2019.59.70>

Tianwitawat, C. y Klaiprasitti, P. (2023). Salvado de arroz como material encapsulante para producir un producto simbiótico saludable con tolerancia gastrointestinal mejorada. *Archivos de microbiología*, 205(7), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s00203-023-03586-w>

Tripathi, MK y Giri, SK (2014). Alimentos funcionales probióticos: Supervivencia de los probióticos durante el procesamiento y almacenamiento. En *Journal of Functional Foods* (Vol. 9, Número 1). <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.030>

Utama-ang, N., Kuatrakul, I., Walter, P., Rattanapitigorn, P. y Kawee-ai, A. (2022). Efecto del recubrimiento instantáneo de arroz jazmín que combina espirulina con polímeros comestibles sobre las propiedades fisicoquímicas, las propiedades texturales y la aceptación sensorial. *Informes científicos*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11759-8>

Delzo-Salomé, A., Huari-Vila, O., & Salazar-Mercado, J. (dic. 2021). Diseño Box - Behnken para optimizar el rendimiento de un pico sistema solar fotovoltaico (Vol. vol.31). Huancayo, Perú: Tecnia . doi:<http://dx.doi.org/10.21754/tecnica.v21i2.1018>

Pincioli, M. (2010). PROTEÍNAS DE ARROZ PROPIEDADES ESTRUCTURALES.

Amornrat , M., Vichai Domrongpokkaphan, V., Kaewpanya, L., Khemkhao, M., & Sumonsir, N. (2021, Noviembre 26). Factores que afectan la producción de fermentados simbióticos comprimidos de leche que contienen alcachofa de Jerusalén en polvo y *Lacticaseibacillus casei* TISTR 1463. *Food processing and preservation*. doi:10.1111/jfpp.16153

Boyd, V. (2021). La variedad de arroz de alto índice glucémico y alto contenido de proteínas obtenida por LSU gana terreno. *Rice Farming*.

Gutierrez Pulido , H., & Salazar, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos (Vol. Segunda edición). México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V. Retrieved from https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf

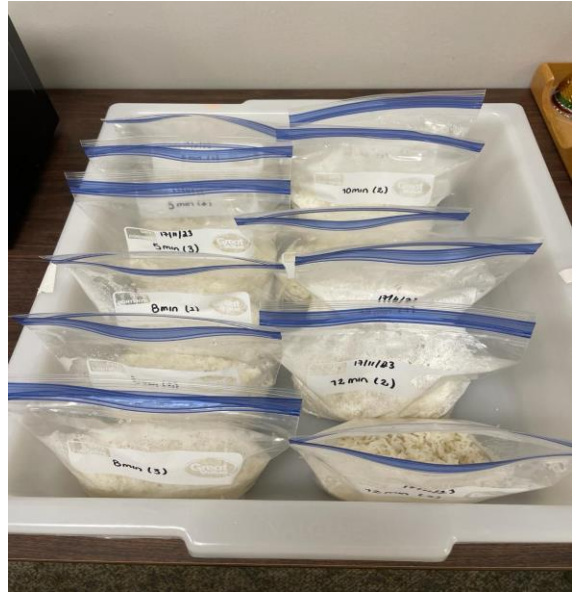
Vioque, J., Sánchez-Vioque, R., Pedroche, J., Yust, M., & Millán, F. (2001-01-01). Obtención y aplicaciones de concentrados y aislados protéicos. *Grasas y Aceites*.

Le, T. Q., & Jittanit, W. (2015). Optimization of operating process parameters for instant brown rice production with microwave-followed by convective hot air drying. *Journal of Stored Products Research*, 61, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2015.01.004>

Prasert, W., & Suwannaporn, P. (2009). Optimization of instant jasmine rice process and its physicochemical properties. *Journal of Food Engineering*, 95(1), 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.04.008>

X. ANEXOS

Proceso de la preparación de arroz instantáneo



Análisis fisicoquímicos de las variables dependientes

