

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Desde los años 2000 la producción de yuca se ha incrementado rápidamente en Tarija, al igual que dentro de toda Bolivia, en los años 2014 se lanzaron grandes proyectos para aumentar la producción de yuca en Bermejo y Yacuiba, estos son los mayores productores y consumidores de yuca en Tarija (Cruz, 2010).

La comunidad Los Pozos, en el municipio de Bermejo, es la principal productora de camote y yuca, el habitante en Los Pozos siembra, mínimamente, media hectárea de yuca y otra media hectárea de camote, debido a que la caña de azúcar perdió su valor adquisitivo. “La mayoría procedió a revolver los cañales y sembrar yuca y camote por ser considerados rubros rentables y de alta demanda en los mercados de Bermejo y Tarija, el pasado año se logró vender el quintal de yuca hasta en 300 bolivianos (Mamani, 2014).

En Yacuiba los cultivos de verano tienen una superficie total de 50 mil hectáreas, siendo la yuca el 0,14% de todos los cultivos de verano, lo que equivale a 74,19 hectáreas. En cuanto a la cantidad de producción obtenida del cultivo de la yuca, se cultivan 46 quintales por hectárea (INE, 2017).

El consumo de yuca es principalmente motivado por eventos sociales impulsados por la celebración de la cultura y la diversidad de alimentos típicos, “Desde el año 2006 se realiza la feria de la yuca en Yacuiba donde se ofrecen productos elaborados a base de yuca como ser jugos instantáneos, cuñapes, almidón, licor de yuca, entre otros, para promover el consumo del tubérculo y su uso para realizar subproductos” (Ortiz, 2015).

En Bolivia la yuca se cultiva en cuatro grandes zonas, Beni-Pando, Yungas, Santa Cruz y Chapare, pero las zonas de Chuquisaca y Tarija incrementan su producción de yuca gradualmente. La mayor parte de la yuca se consume localmente, como raíz fresca; el uso de este cultivo en la alimentación animal es mínima. Las principales limitaciones de la producción son la poca atención técnica y ataque de roedores (Alvaro, 1991).

La dieta boliviana relacionada al consumo tanto de mariscos como de pescados, es limitada. En Bolivia no existe el hábito de consumir este tipo de proteínas de manera cotidiana. La dieta proteica de la población boliviana está más orientada al consumo de otro tipo de carnes, como pollo y res. Sin embargo, los consumidores bolivianos vienen valorando cada vez más las ofertas gastronómicas elaboradas sobre la base de mariscos y pescado (FAO, 2019).

El mercado de Bolivia sólo ha podido ser abastecido, casi exclusivamente, mediante la importación de pescados y mariscos, en muchos casos, provenientes de agua dulce. Los principales países de los cuales se obtienen camarones son Perú, Argentina y Chile.

La importación de pescados y mariscos en el país se ha incrementado sensiblemente, con Argentina como principal proveedor. Los últimos datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), procesados por el Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE), señalan que el consumo de estas variedades marinas mantiene su tendencia al alza. Prueba de ello es la subida en el valor de las compras, que pasan de 6,7 a 10 millones de euros en el período 2013 y 2017 (La Razón, 2018).

1.2 Justificación

- La yuca es un tubérculo que presenta beneficios para la salud debido a su alto aporte calórico y los minerales que contiene, la yuca no contiene gluten, por lo cual es una alternativa favorable para dietas libres de gluten. El camarón es una fuente de vitamina D y rebaja el colesterol en la sangre gracias a los ácidos grasos que presenta, pero no es un alimento de fácil acceso, mediante el presente trabajo se desea elaborar un producto de calidad nutricional integrando la yuca y el camarón para aprovechar sus características nutricionales.
- El camarón es un alimento altamente perecedero, debido a su alta cantidad de agua y a su procedencia, su conservación demanda de temperaturas bajas lo cual no es económicamente conveniente y dificulta su distribución, mediante este trabajo se

pretende integrar la yuca y el camarón en un producto deshidratado para dar una alternativa de conservación, aumentar la vida útil y facilitar la comercialización.

- En el departamento de Tarija se incentiva la producción de yuca, principalmente en Bermejo y Yacuiba como una alternativa de ingreso económico para los productores, sin embargo, no se encuentra en el mercado local productos derivados de la misma, la manera tradicional de consumir la yuca se limita a platos típicos, con el presente trabajo se pretende elaborar un producto que motiva el consumo de yuca en Tarija.
- El consumo de mariscos en la ciudad de Tarija está en aumento, dando interés a elaborar un producto con sabores similares, la adición del camarón brinda sabores no explorados en las botanas locales.

1.3 Objetivo

El presente trabajo de investigación cuenta con los siguientes objetivos.

1.3.1 Objetivo general

Elaborar krupuk (galleta seca a base de almidón de yuca), mediante el proceso de secado por aire caliente a nivel experimental, para obtener un producto de calidad nutricional y organoléptica que genere valor agregado a la yuca en la Provincia de Cercado Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la materia prima y del producto terminado con la finalidad de conocer su composición final.
- Realizar evaluación sensorial en las muestras, mediante pruebas sensoriales para cuantificar la aceptación del producto por parte del consumidor.
- Determinar el contenido de humedad en base seca y la humedad residual de las muestras con mayor preferencia.

- Aplicar el diseño experimental en el proceso de secado, para controlar los efectos de los factores en función de la variable respuesta.
- Definir el rendimiento del proceso, mediante los balances de energía y de materia.

1.4 Objeto de estudio

Aplicación del proceso de secado por aire caliente a nivel experimental para obtener krupuk en la provincia de Cercado Tarija.

1.5 Campo de acción

- Espacial: El siguiente trabajo de investigación se realizó en la Provincia de Cercado-Tarija.
- Temporal: El desarrollo del trabajo se llevó a cabo entre 2022- 2023.
- Institución: La parte experimental del trabajo de investigación fue elaborada en el Laboratorio de Taller de Alimentos, perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.6 Planteamiento del problema

Se observa que la producción de yuca en Tarija se encuentra en aumento, pero la población tarijeña no consume este tubérculo con regularidad, existe un desperdicio de una materia prima que tiene varias aplicaciones en el área de los alimentos.

En Tarija no existen industrias alimentarias que utilizan la yuca como materia prima por ende en el comercio local no se encuentran suficientes alternativas de productos a base de yuca, la presentación de nuevos productos puede llamar el interés local facilitando el conocimiento sobre las diferentes maneras de darle uso a la yuca.

1.7 Formulación del problema

¿Cómo se implementará el método de secado por aire caliente a nivel experimental con la finalidad de obtener krupuk (galleta seca a base de almidón de yuca), de calidad nutricional y que genere valor agregado a la yuca en la provincia de Cercado Tarija?

1.8 Formulación de la hipótesis

La implementación del proceso de secado a nivel experimental permitirá obtener krupuk de calidad nutricional y organoléptica que genere valor agregado a la yuca en la provincia de Cercado Tarija.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Origen del krupuk

En gran parte del occidente el krupuk se encuentra generalmente servido como aperitivo en los restaurantes chinos, pero este snack, no es originario de la cocina china, sino que son préstamos gastronómicos que los orientales hacen de otros países de su entorno, sobre todo del sureste asiático.

La popularización de los restaurantes chinos en occidente, en las últimas décadas, ha hecho que este aperitivo haya quedado vinculado a su cocina, pero en realidad este snack es de origen sudasiático y varios son los países que se disputan ser los creadores del mismo, entre ellos Indonesia, Vietnam o Malasia, siendo los indonesios quienes, con mayor probabilidad, sean sus verdaderos creadores. Allí se conoce como ‘krupuk’ y el origen de este término es onomatopéyico, ya que hace referencia al sonido crujiente que hace esas cortezas al ser mordidas. En China, al igual que Malasia y otros países del entorno, es llamado ‘keropok’ e incluso son muy populares en los Países Bajos debido a las colonias que tuvieron los neerlandeses en el sureste asiático (Lopez, 2019).

2.2 Definición de krupuk

Dentro del informe del noveno periodo de sesiones del comité coordinador del Codex para Asia, que se llevó a cabo en Beijing, China, se desarrolla una propuesta para el producto denominado krupuk, listado como una galleta seca, Codex Alimentarius (1994) define krupuk como una galleta seca, especificando que: “La galleta seca es un bocadillo tradicional elaborado con la carne picada fresca de cualquiera de los (incluidas las carnes rojas y las carnes blancas) peces de agua dulce, crustáceos (incluidas las gambas y camarones) y moluscos (incluidos calamares, sepias, ostras, almejas, mejillones y berberechos)” (Pág.46).

De acuerdo a la definición indicada por el CODEX STAN 192-1995, el producto krupuk, cumple con las características y se clasifica como “cracker”, aperitivos a base de patatas (papas), cereales, harina o almidón (derivados de raíces y tubérculos, legumbres y leguminosas): Comprende todos los aperitivos, con o sin aromatizantes

añadidos. Ejemplos: patatas (papas) fritas, palomitas de maíz, galletas saladas, galletas “cracker” aromatizadas (p. ej. las galletas “cracker” con sabor a queso); aperitivo elaborado a base de una mezcla de harinas, almidones, maíz, patatas, sal, frutos secos, piñones, especias, colores, aromas y antioxidantes (CODEX, 2015. Pág.48).

2.3 Clasificación de krupuk

El krupuk se caracteriza por contener mariscos y almidón de yuca, las industrias que elaboran este producto a nivel mundial tienen diferentes alternativas de sabores donde se encuentran crackers picantes, sin picante, con diferente tipo de hierbas, también es posible utilizar diferentes proteínas como por ejemplo pollo o champiñones, es común utilizar colorante comestible para dar un color llamativo al krupuk.

La materia prima del krupuk debe cumplir con factores esenciales de composición y calidad, la galleta de pescado seco se preparará a partir de peces y crustáceos de agua dulce y salada, constan de un característico aspecto fresco, color y olor. Otros ingredientes aparte la proteína son almidón, azúcar, sal y agua potable. El agua potable debe tener propiedades acordes con los requisitos contenidos en la "Norma Internacional para el Agua Potable" (CODEX, 1994. Pág. 46).

El producto final debe cumplir con características determinadas para ser denominado krupuk, el Codex Alimentarius (1994) desarrollo los siguientes requisitos:

- El producto deberá mostrar un tamaño, forma, grosor de color y textura uniformes.
- El producto deberá estar libre de cualquier deterioro microbiológico, hongos visibles, adulterantes, materia extraña y otros signos de deterioro.
- El producto puede contener un potenciador del sabor y fosfato permitidos de acuerdo con los criterios de los Principios generales para el uso de aditivos alimentarios adoptados por el Codex Alimentarius Comisión.

El producto deberá cumplir con los requisitos descritos en la tabla 2.1 para ser considerado krupuk.

Tabla 2.1

Requisitos para las galletas de pescado secas de peces marinos y de agua dulce, crustáceos y moluscos

Características	Pescado de agua salada		Pescado de agua dulce	Crustáceos y moluscos
	Carne roja	Carne blanca		
Proteína cruda (N * 6,25)	15.0	12.0	12.0	7.0
Humedad (w/w %)	8.0 a 12.0	8.0 a 12.0	8.0 a 12.0	8.0 a 12.0
Expansión Linear (% , min)	85,0	85,0	85,0	85,0

Fuente: Codex Alimentarius, 1994

2.4 Composición nutricional del krupuk

En las marcas comerciales comunes que se encuentra en el exterior se puede destacar que por 100 g de krupuk se encuentra 340 calorías, 1 g de proteína, 84 g de carbohidratos, 1 g de grasa (myfitnesspal, 2007).

2.5 Características de las materias primas

La materia prima requerida para la elaboración de krupuk se detalla a continuación.

2.5.1 La yuca

La yuca, pertenece a la familia *Euphorbiaceae*. Esta familia está constituida por unas 7200 especies que se caracterizan por el desarrollo de vasos laticíferos compuestos por células secretoras que producen una secreción lechosa. Su centro de origen genético se encuentra en la Cuenca Amazónica. Se han descrito alrededor de 98 especies del género *Manihot* de las cuales solo la yuca tiene relevancia económica y es cultivada. Su reproducción alógama y su constitución genética altamente heterocigótica constituyen la principal razón para propagarla por estacas y no por semilla sexual. El uso de esta planta se caracteriza por el consumo de su raíz, en la que se acumulan gran cantidad de componentes, entre ellos el almidón, que es la forma natural como la planta almacena energía por asimilación del carbono atmosférico mediante la clorofila presente en las hojas. La cáscara es dura y leñosa e incomedible. La pulpa es firme e incluso dura antes de la cocción, surcada por fibras longitudinales rígidas que se extienden a lo largo de

la raíz; muy rica en hidratos de carbono y azúcares, se oxida rápidamente una vez desprovista de la corteza (Ceballos & De la Cruz, 2002).

2.5.2 El almidón de yuca

Es un polisacárido natural, obtenido de la raíz de la yuca, extremadamente versátil y alcanza una eficiencia incomparable en todas sus aplicaciones entre ellas las películas biodegradables. El almidón de yuca puede clasificarse como agrio y nativo (dulce). El almidón agrio sufre un proceso de fermentación que le otorga propiedades deseables para los alimentos; el almidón nativo o dulce no es sometido a un proceso de fermentación, y es el que se usa generalmente en la industria. (Gontard, 1993).

“En el granulo del almidón de yuca, su tamaño puede variar de 5 μm a 35 μm , se distingue al microscopio que su forma es entre redonda y achatada y su contenido de amilosa es alrededor del 17%” (Fritz, et al ; 1994).

Una de las principales propiedades del almidón nativo es su semi cristalinidad, donde la amilopectina es el componente dominante de la cristalización en la mayoría de los almidones. La porción cristalina está compuesta por estructuras de doble hélice formadas por puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo en las cadenas lineales de la molécula de amilopectina y por cadenas externas de amilopectina unidas con porciones de amilosa (Rivera, 2014).

2.5.3 Camarón

Los mariscos son un alimento rico en nutrientes y son apreciados principalmente por ser una buena fuente de proteína que contiene gran cantidad de grasas poliinsaturadas lo que presenta una opción alimentaria para las personas con problemas cardiovasculares. En los principales beneficios del consumo de mariscos, Diaz (2018) afirma que:

Los mariscos muestran una serie de características muy singulares, ya que son animales considerados para uso comestible, los cuales viven en el mar y en algunos ríos, dentro de su composición destaca son invertebrados y presenta una protección natural, ya que,

dentro de este grupo, suelen existir ejemplares que tienen una concha dura, como sucede con los (cangrejos), incluso algunos poseen una concha transparente, y que se muestra frágil y quebradiza. (un ejemplo: los camarones). Gracias a las características nutricionales, aportadas por los mariscos, se pueden clasificar como un alimento que proporciona buenos beneficios para la salud. Es importante señalar que presentan un nivel adecuado de grasas poliinsaturadas, las cuales disminuyen el riesgo de formación de coágulos, y también sirven como medio de protección ante la aparición de enfermedades cardiovasculares, y otras afecciones. Otros de los beneficios son los siguientes:

- Generan beneficios positivos, al aportar las cantidades adecuadas de proteínas ya que contienen un alto valor biológico, las cuales resultan necesarias para el correcto crecimiento y desarrollo.
- Muestra un aporte adecuado de calcio, el cual resulta muy beneficioso para la correcta salud ósea y también sirve para la prevención de la osteoporosis.
- Su contenido en yodo evita padecer de algunas afecciones.
- Gracias a su bajo aporte calórico, es considerado como un alimento que puede ser incluido en las dietas, ya que garantiza buenos resultados.

2.5.4 Composición fisicoquímica del almidón

Como menciona Ceballos & De la Cruz (2002); la composición química de la yuca blanca (*Manihot esculenta* Cranz) se detalla en la tabla 2.2.

Tabla 2.2

Composición fisicoquímica de la raíz de yuca

Componentes	Raíz de yuca	Unidad
Grasas	0,2	%
Proteína	1,2	%
Ceniza	1,9	%
Humedad	66,0	%
Fibra	3,1	%
CT	35,0	%
AT	85,0	%

Fuente: Ceballos & De la Cruz, 2002

Según su investigación, Rivera (2014); determina la composición química del almidón de yuca en la tabla 2.3.

Tabla 2.3

Composición fisicoquímica del almidón de yuca

Componentes	Almidón yuca	Unidad
Grasas	0,2	%
Proteína	0,06	%
Ceniza	0,29	%
Humedad	9,48	%
Fibra	1,01	%
CT	98,44	%
AT	94,64	%

Fuente: Rivera, 2014

2.5.4.1 Diferencias físicas de los almidones

Las féculas de yuca y papa, se hinchan de forma rápida a una baja temperatura; igualmente su pico de viscosidad es alto. El pico de viscosidad de los almidones de maíz y de trigo son relativamente bajos, porque los gránulos son hinchados moderadamente y requieren temperaturas más altas (Sucre, 2015).

2.5.4.2 Diferencias químicas de almidones

Las féculas de yuca y papa, contienen bajos porcentajes de lípidos (cerca del 0.1%), comparadas con los almidones de cereales, los cuales alcanzan tener hasta 1% de lípidos. El alto porcentaje de lípidos retrasa el hinchamiento y la solubilización de los

almidones de cereales. Las féculas de yuca y papa contienen pequeños porcentajes de proteínas, cerca de 0.1 %, comparadas con los almidones de cereales, los cuales alcanzan a tener hasta 0.7 % de proteínas. Las proteínas residuales afectan el sabor y olor de los almidones de cereales y tienden a formar espuma (Sucre, 2015).

Los almidones se extraen principalmente de tubérculos y cereales, Sucre (2015); presenta la composición química de las principales fuentes de almidón en la tabla 2.4.

Tabla 2.4

Composición química de las principales fuentes de almidón

Componentes	Yuca	Papa	Trigo	Maíz	Unidad
Humedad	13,00	19,00	13,00	13,00	%
Lípidos	0,10	0,10	0,90	0,80	%
Proteínas	0,10	0,10	0,40	0,35	%
Fósforo	0,01	0,08	0,06	0,02	%
Sabor y olor	neutro	bajo	alto	alto	-
Amilosa	16 - 19	-	-	-	%

Fuente: Sucre, 2015

2.5.5 Propiedades nutricionales de la yuca

“Buena parte de su composición es agua, hidratos de carbono y fibra, y aunque no posee grandes cantidades de micronutrientes, es rica en vitamina C, vitamina B1, manganeso o potasio” (Gomez, 2020).

Se indica el valor nutricional de macro y micro nutrientes que se encuentran en 100 gramos de yuca, los datos determinados por J.L.E (2019), se muestran en la tabla 2.5.

Tabla 2.5

Valor nutricional de la yuca

Componentes	Valor	Unidad
Calorías	159,0	kcal
Grasas	0,3	g
Proteínas	1,4	g
Hidratos de carbono	38,0	mg
Calcio	16,0	mg
Hierro	0,3	mg
Magnesio	21,0	mg
Potasio	271,0	mg

Fuente: J.L.E, 2019

2.5.6 Aplicaciones del almidón de yuca

Existen diversos usos para el almidón de yuca, presentan propiedades versátiles siendo así de gran ayuda para remplazar otras materias primas en la elaboración de varios productos, el almidón tiene un lugar para crecer en la industria alimentaria y ser utilizado en mayor cantidad, Sucre (2015); indica como sustituir otros productos por almidón de yuca, según la tabla 2.6.

Tabla 2.6

Usos del almidón de yuca como sustituyente

Usos	Sustitución por almidón de yuca	Porcentaje de sustitución	Ventajas del uso del almidón de yuca
Panadería	Harina de trigo	20	Menor costo y mejor sabor
Galletería	Harina de trigo	10	Mayor sensación crujiente
Pastas	Harina de trigo, almidón de arroz y maíz	20-30	Menor costo
Carnes procesadas	Harina y almidón de trigo	100	Mayor absorción de agua
Sopas	Harina de trigo, fécula de maíz y harina de plátano	20-40	Mayor rendimiento
Snacks	Almidón de yuca, harina de trigo y maíz	100	Menor costo, mayor sensación crujiente
Dulce de leche	Harina de arroz y fécula de maíz	50-100	Menor costo, mayor sensación crujiente
Apanados	Harina de trigo	15-30	Mayor sensación crujiente, menor costo
Condimentos	Harina de trigo y fécula de maíz	50-10	Menor costo

Fuente: Sucre, 2015

2.6 Caracterización de los insumos utilizados en la elaboración de krupuk

Los insumos alimentarios utilizados en la elaboración de krupuk son de fácil acceso, adquiridos principalmente en Tarija, a continuación, se detallan los insumos necesarios para la elaboración de krupuk.

2.6.1 Especias

Sal, pimienta, pimienta de cayena, ajo en polvo, cebolla en polvo.

2.6.2 Hierbas aromática

Orégano, tomillo, perejil, romero.

2.6.3 Estabilizador

Polifosfato de sodio es un aditivo utilizado en la industria de alimentos principalmente por sus propiedades como emulsionante, estabilizante, humectante, leudante, regulador

de la acidez. Entre las aplicaciones más comunes se encuentran: Pescado y derivados, productos cárnicos y aderezos (Dergal, 2006).

2.6.4 Potenciador de sabor

Glutamato monosódico o glutamato de sodio es un aminoácido no esencial que aparece en diversos alimentos y que es uno de los más abundantes en la naturaleza. Se considera como un aditivo alimentario y se identifica por las siglas E621. Se utiliza como potenciador del sabor y, en algunos casos, se entiende que es como un sabor adicional al salado, dulce, ácido o amargo. En este sentido, se habla de umami que es el quinto sabor (FIATC, 2019).

2.6.5 Levadura de panadería

Se llama levadura al organismo vivo, generalmente un hongo, que produce enzimas, los cuales provocan cambios bioquímicos importantes en productos orgánicos naturales: fermentación. Son capaces de transformar los azúcares en alcohol y CO₂ (Llarás, 2000)

CAPÍTULO III
DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Desarrollo del trabajo de investigación

Las actividades que comprenden la parte experimental del trabajo de investigación “elaboración de krupuk”, se llevaron a cabo en el Laboratorio del Taller de Alimentos (LTA) y el Laboratorio Académico de la Carrera Ingeniería de Alimentos (LACIA), pertenecientes a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 Paradigma investigativo

Un paradigma se puede definir como un conjunto de creencias, valores y supuestos compartidos que influyen en la forma en que una comunidad científica o disciplina específica aborda y comprende un determinado fenómeno.

Según Kuhn (1962), un paradigma se refiere a un conjunto de creencias, valores y suposiciones compartidos que guían la investigación y la práctica en una determinada disciplina científica. Representa una forma establecida de pensar, organizar y comprender el mundo en un momento dado. Los paradigmas no solo influyen en la forma en que se realizan las investigaciones, sino también en la manera en que se interpretan los resultados y se establecen las teorías dentro de un campo determinado.

El presente trabajo de investigación se rige por el paradigma positivista, bajo este paradigma el conocimiento es igual a una verdad objetiva e irrefutable, "el positivismo considera que el conocimiento válido se fundamenta en la verificación empírica, basada en la experiencia y la observación. Desde esta perspectiva, la confiabilidad se alcanza al estudiar fenómenos materiales y cuantificables, sujetos a leyes y sometidos a pruebas empíricas" (Popper, 2002).

3.3 Enfoque de investigación

La investigación con enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente. Se basa en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística

para establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población (Hernández et al; 2014).

El enfoque cuantitativo se lleva a cabo de manera directa mediante la verificación y comprobación de teorías a través de estudios muestrales representativos. Se emplean pruebas, entrevistas, cuestionarios, escalas para medir actitudes y medidas objetivas, utilizando instrumentos de validación y confiabilidad. En este proceso, se utilizan técnicas estadísticas para el análisis de datos y se obtienen los resultados (Maita, 2016).

3.4 Diseño de la investigación

La investigación experimental se fundamenta en leyes descritas por Ruiz. Consiste en un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se llevan a cabo para recopilar información y datos necesarios sobre un tema de investigación y un problema a resolver. En la investigación experimental, se manipula una variable experimental no comprobada en condiciones rigurosamente controladas, con el objetivo de describir cómo o por qué se produce una situación o evento particular" (Ruiz, 2012).

3.5 Tipo de investigación

"La investigación de tipo hipotético-deductivo tiene como objetivo comprender los fenómenos y explicar su origen o causas. Otros objetivos incluyen la predicción y el control, que son aplicaciones importantes basadas en leyes y teorías científicas" (Hernández et al; 2014).

"La investigación de tipo hipotético-deductivo implica la formulación de hipótesis a partir de premisas universales, como leyes y teorías científicas, y premisas empíricas basadas en hechos observables. Estas hipótesis se someten a pruebas empíricas para contrastarlas y evaluar su validez" (Babbie, 2016).

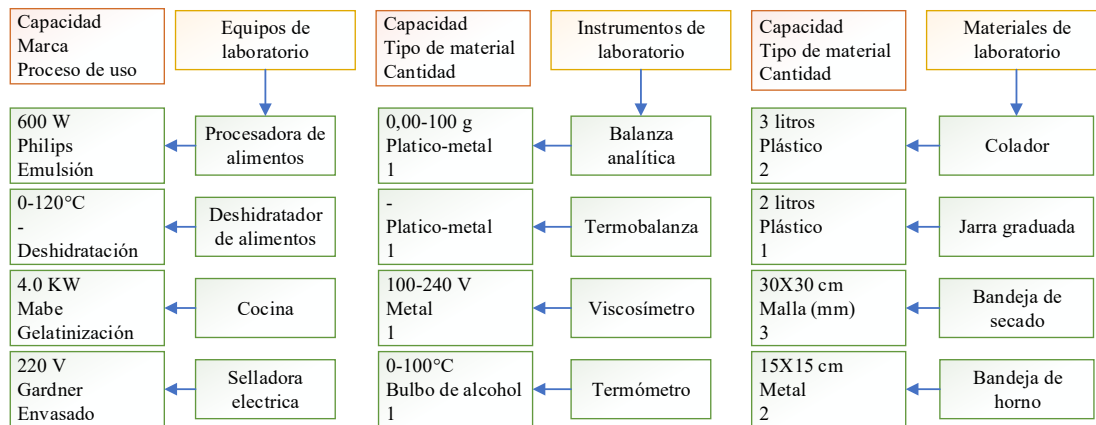
3.6 Métodos de la investigación: técnicas e instrumentos

Desde el inicio de la investigación se hace necesario decidir sobre el enfoque a utilizar, lo que determina las características de todo el estudio. Para la elección y desarrollo del

instrumento se debe tomar en cuenta todos los momentos anteriores de la investigación. La metodología utilizada en la recolección de datos debe estar acorde con el enfoque teórico conceptual que se ha desarrollado en el resto del estudio. Al momento de definir cómo se va a abordar la recolección de los datos, se debe definir el tipo de información requerida (cuantitativa, cualitativa o ambas) (Edgar, 2015).

3.6.1 Equipos, instrumentos y materiales de laboratorio

Los equipos, instrumentos y materiales destinados a la elaboración de krupuk se detallan en la figura 3.1



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1 Equipos, materiales e instrumentos de laboratorio para la elaboración de krupuk

3.6.2 Materia prima e insumos alimentarios

La materia prima e insumos a emplear para la elaboración de krupuk se detallan a continuación.

3.6.2.1 La yuca

Las sus características de la yuca que fue utilizada en la elaboración de krupuk se detallan en la tabla 3.1.

Tabla 3.1

Detalles de la yuca

Nombre común	Yuca
Nombre científico	<i>Manihot esculenta</i> Cranz [*]
Variedad	Blanca
Procedencia	Bolivia

Fuente: Elaboración propia, *Cranzt, 1766

3.6.2.2 Almidón de yuca

El almidón de yuca utilizado para la elaboración de krupuk fue obtenido en el Mercado Campesino de la ciudad de Tarija, proveniente de Santa Cruz de la industria AMAFIL, la industria AMAFIL ha estado trabajando en el mercado de alimentos derivados de la yuca durante más de 40 años. Sus productos no contienen gluten y brindan calidad nutricional a los clientes.

3.6.2.3 Camarón

El camarón que se encuentra a la venta en la Provincia de Cercado Tarija proviene principalmente de Perú, el principal punto de importación de Bolivia se encuentra en La Paz, de donde es distribuido a otros departamentos como Tarija, la variedad de camarón utilizado fue *Litopenaeus vannamei*.

3.6.2.4 Insumos alimentarios

En la figura 3.2 se indica las características de los insumos alimentarios utilizados en la elaboración de krupuk.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2 Insumos alimentarios para la elaboración de krupuk

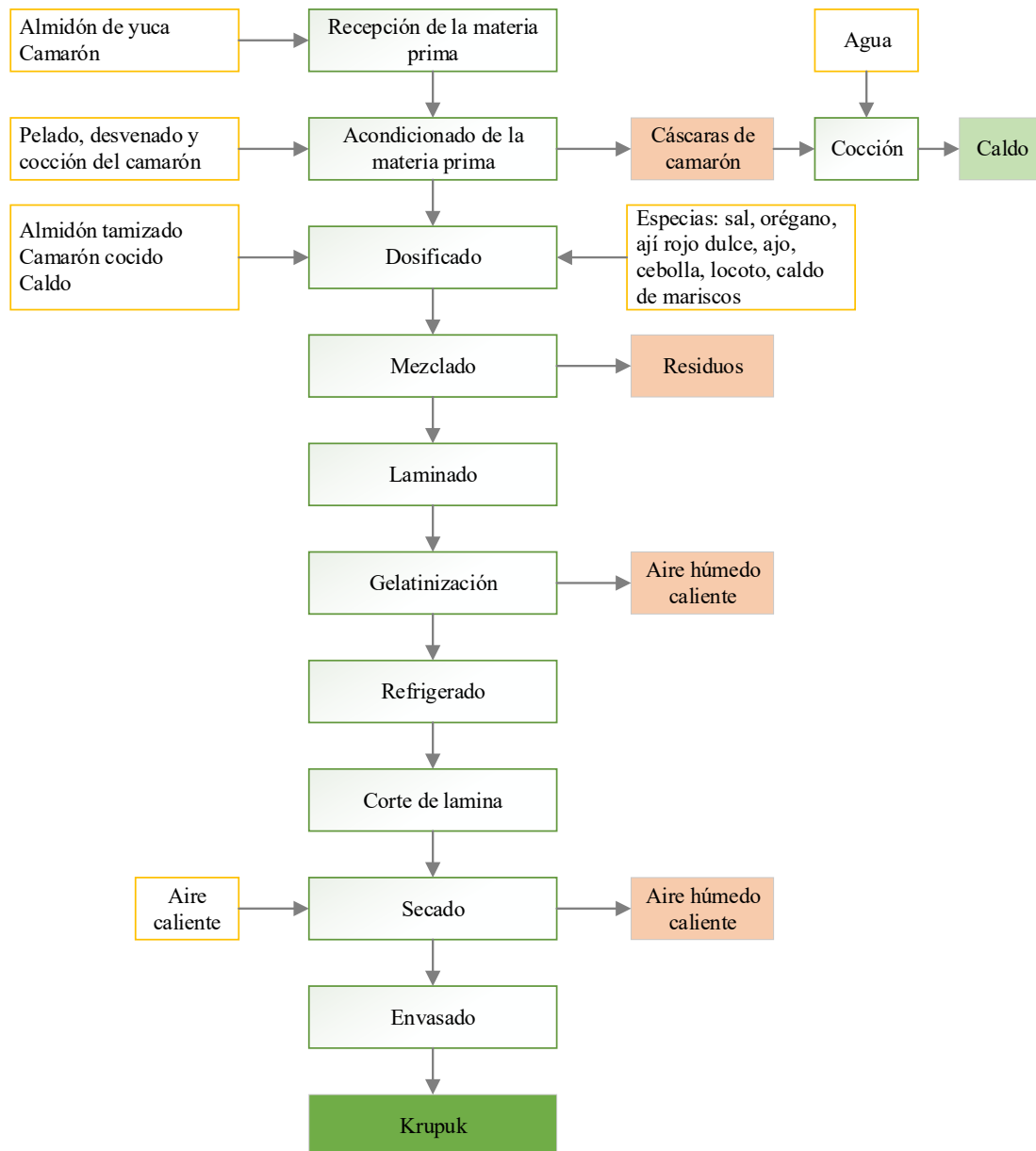
3.6.3 Proceso de elaboración de krupuk

El proceso de elaboración de krupuk se resume en un diagrama de flujo, este permite centralizar cada uno de los procesos, para que cada etapa del proceso de elaboración

reciba la atención necesaria, cumple la función de guía visual para la elaboración del producto.

3.6.3.1 Diagrama del proceso de elaboración de krupuk

El diagrama de flujo se realizó modificando la información de (Andong, 2020), el diagrama de flujo de la elaboración de krupuk se muestra en la figura 3.3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3 Diagrama del proceso de elaboración de krupuk

3.6.3.2 Desarrollo del proceso de elaboración de krupuk

Los pasos a seguir para la elaboración de krupuk se describen a continuación.

3.6.3.1 Recepción de la materia prima

La materia prima utilizada, el almidón de yuca, debe presentar una textura seca al tacto y un color blanquecino. Por otro lado, el camarón debe presentar un color uniforme sin presencia de manchas oscuras, la textura no debe presentar viscosidad.

3.6.3.2 Acondicionamiento del camarón

El camarón se lava, pela, desvena y hierve en agua durante 2 minutos. Este proceso contribuye a mejorar la homogeneidad de la mezcla en etapas posteriores.

Preparación del caldo: las cáscaras de camarón son lavadas con agua con sal, una vez enjuagadas son hervidas en agua por 2 horas.

3.6.3.3 Dosificado

Se procede a pesar cuidadosamente las cantidades exactas de almidón de yuca, camarón, agua y especias requeridos para la elaboración del producto.

3.6.3.4 Mezclado

Todos los ingredientes y materiales necesarios se introducen en una procesadora de alimentos, donde se obtendrá una mezcla homogénea. Es importante evitar que las cuchillas calienten excesivamente la mezcla.

3.6.3.5 Laminado

La mezcla se vierte en una bandeja con el fin de obtener una lámina que, una vez gelatinizada, puede ser cortada en diversas formas.

3.6.3.6 Gelatinización del almidón

La bandeja con la mezcla se sumerge en agua a una temperatura de 80°C durante 5 minutos. En esta etapa, se produce la unión molecular de la mezcla, lo cual aporta uniformidad y consistencia a la lámina.

3.6.3.7 Refrigerado

La mezcla debe reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Luego, se coloca en un refrigerador con una temperatura entre 3 y 5 °C durante 3 horas. Este proceso permitirá que la mezcla gelatinizada adquiera mayor firmeza, lo cual es esencial para el posterior corte en rodajas a secar.

3.6.3.8 Corte de lámina

La mezcla gelatinizada se corta utilizando un cuchillo o moldes, con el fin de obtener diversas formas.

3.6.3.9 Secado

Las rodajas se colocan ordenadamente y separadas sobre las bandejas del secador. La temperatura se calibra a 40 °C y el tiempo de secado es de 6 horas. Durante esta etapa, se mueven las bandejas para lograr una deshidratación uniforme en todas las rodajas del producto.

3.6.3.10 Envasado

Finalmente, las rodajas de krupuk se introducen en bolsas de polipropileno y se sellan herméticamente mediante una selladora eléctrica.

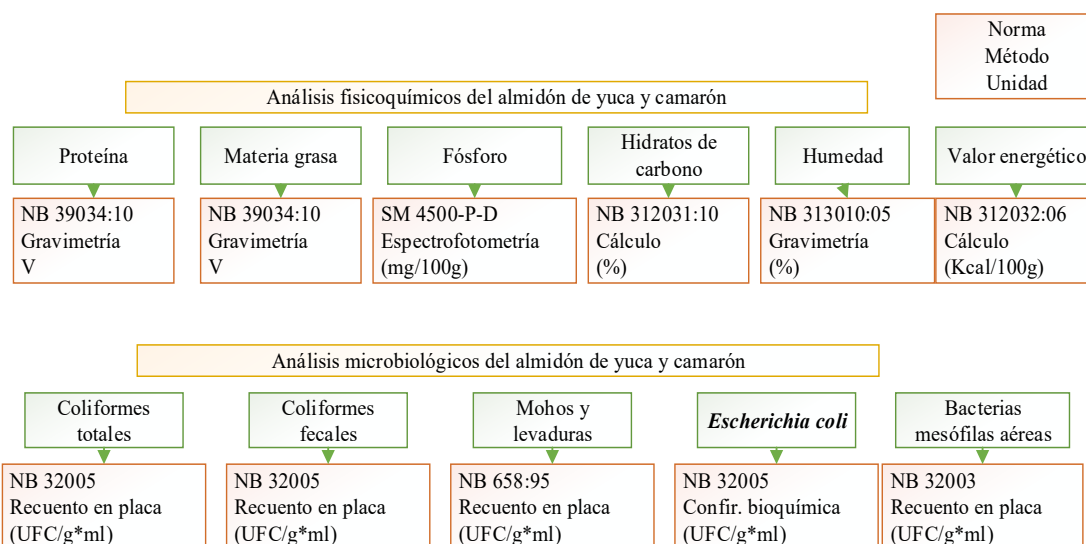
3.6.4 Metodología de la obtención de resultados para la elaboración de krupuk

A continuación, se detalla la metodología empleada para la obtención de resultados experimentales del presente trabajo de investigación.

3.6.4.1 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la materia prima

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la materia prima se realizó en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

En la figura 3.4, se detallan los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la materia prima durante la parte experimental del trabajo de investigación.

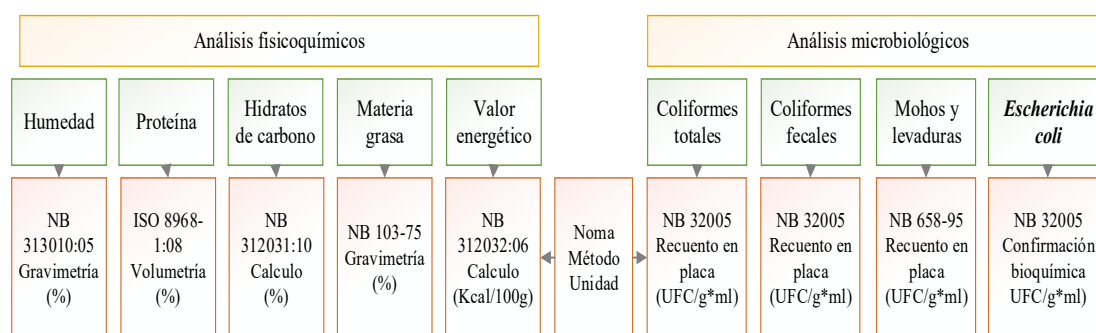


Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la materia prima

3.6.4.2 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del producto terminado

El análisis fisicoquímico y microbiológico del producto terminado, krupuk, se realizó en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID). En la figura 3.5 se indican y caracterizan los análisis realizados al producto terminado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.5 Análisis fisicoquímicos y microbiológicos del producto final

3.6.4.3 Análisis organoléptico

El análisis organoléptico se centra en cuantificar la calidad del producto final, evaluando las características que componen al producto mediante la evaluación sensorial. Esto permite determinar el grado de aceptación que tiene el producto frente a los consumidores. La evaluación sensorial de los alimentos es una función primaria del ser humano, quien desde la infancia acepta o rechaza los alimentos basándose en las sensaciones que experimenta al observarlos y consumirlos. En general, el análisis sensorial puede definirse como el conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los alimentos utilizando uno o más de los sentidos humanos (Gámbaro, 2014).

El carecer de evaluación sensorial podría condicionar el fracaso de los avances e innovaciones que se producen en la tecnología de alimentos. Es clásico el ejemplo de un producto elaborado para una determinada comunidad (ejército, grupo escolar, etc.), perfectamente equilibrado desde el punto de vista nutritivo, que es rechazado por sus potenciales consumidores porque no les gusta su sabor, su color o su textura. Hay una gran cantidad de análisis que se les hacen a los alimentos para estar seguros de la

calidad que se quiere brindar, como: composición química, carga microbiana y, sobre todo, sus características sensoriales (olor, color, sabor, textura), pues de ello depende la demanda que tendrán los consumidores hacia dicho producto (Stadler, 2020).

Para el presente trabajo se realizó un análisis sensorial en diferentes etapas de la elaboración del producto, se utilizó jueces para calificar las propiedades organolépticas del producto, olor, color, sabor y textura para medir estadísticamente la apreciación del producto.

3.7 Diseño experimental

Existen en general dos formas de adquirir datos; a través de un diseño experimental o de un diseño de muestreo. El primero generalmente se usa cuando la investigación involucra un experimento; es decir, cuando al menos se controla un factor (variable) en el estudio. (Everitt, 1998) expone una definición formal de un estudio experimental: “estudios en donde el investigador puede deliberadamente influenciar en los eventos, e investigar los efectos de la intervención”.

En cualquier tipo de investigación es muy importante considerar la validez externa e interna. La validez externa se refiere a que nuestro estudio debe ser representativo de la realidad, es decir que lo que obtengamos en el estudio sea igual a lo que sucede en la población. La validez interna se refiere a la comparabilidad entre los grupos a contrastar; es decir que los grupos que vamos a comparar deben ser, al inicio del experimento, lo más parecido posible. Esto es importante ya que, si los grupos son diferentes, entonces los resultados que obtengamos pueden no reflejar el efecto del factor o tratamientos que estemos probando; recordemos que un estudio experimental, tiene como objetivo probar el efecto de una o más variables o factores (tratamientos) sobre un objeto dado (Méndez-Ramírez, 1998).

3.7.1 Diseño factorial 2^k para la elaboración de Krupuk

En el trabajo de investigación "Elaboración de krupuk", se optó por utilizar un diseño factorial 2^k , específicamente el diseño factorial 2^3 . Este diseño tiene como objetivo

estudiar el efecto de tres factores: temperatura de secado, tiempo de secado y espesor de las rodajas, en relación con una variable respuesta, la humedad en base seca.

Para llevar a cabo el diseño factorial, se establecieron dos límites, uno superior y otro inferior, que permitieron definir los rangos de los factores bajo estudio. Estos límites fueron determinados de acuerdo con las necesidades del estudio y las características del proceso de elaboración de krupuk.

Basándonos en el diseño seleccionado, se realizaron un total de 8 pruebas, con 2 réplicas, cada una representando una combinación diferente de los niveles de los tres factores.

En tabla 3.2, se indica el diseño factorial a seguir para la elaboración de krupuk.

Tabla 3.2

Matriz de variables para el proceso de secado

Pruebas	Combinación de tratamientos	Variables			Interacción				Respuesta
		A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Y _i
1	-1	-	-	-	+	+	+	-	Y ₁
2	a	+	-	-	-	-	+	+	Y ₂
3	b	-	+	-	-	+	-	+	Y ₃
4	ab	+	+	-	+	-	-	-	Y ₄
5	c	-	-	+	+	-	-	+	Y ₅
6	ac	+	-	+	-	+	-	-	Y ₆
7	bc	-	+	+	-	-	+	-	Y ₇
8	abc	+	+	+	+	+	+	+	Y ₈

Fuente: Elaboración propia

Donde Y_i = Humedad (%) (variable independiente)

A = Temperatura (C°)

A = 2 niveles

B = Tiempo (h)

B = 2 niveles

C = Espesor de rodajas (mm)

C = 2 niveles

En la tabla 3.3, se muestran los niveles de los factores (nivel superior y nivel inferior) aplicados en el proceso de deshidratación de las láminas.

Tabla 3.3

Niveles de variación de los factores

Variables	Unidades	Nivel superior	Nivel inferior
Temperatura de secado	°C	50	40
Tiempo de secado	horas	6	4
Espesor de las rodajas	mm	2	1

Fuente: Elaboración propia

3.8 Operacionalización de las variables para la obtención de krupuk

En la figura 3.6, se indica la operacionalización de las variables dependiente e independiente para el desarrollo de la parte experimental del presente trabajo.

Hipótesis	Variables		Definición	Proceso	Indicadores	Unidades	
El proceso de secado por aire caliente a ser aplicado a nivel experimental en la elaboración de krupuk, permitirá obtener un producto de calidad nutricional y organoléptica para aumentar el valor de la yuca en el comercio tarijeño.	Independiente	Proceso de secado por aire caliente	El secado por aire caliente es un proceso térmico utilizado para eliminar la humedad de materiales sólidos o líquidos, implica el paso de aire caliente a través del material que se va a secar, lo que provoca la evaporación del agua presente en el material y, como resultado, la reducción de su contenido de humedad (Maupoey,2001).	Secado por aire caliente	Temperatura de secado	°C	
					Tiempo de secado	horas	
					Tipo de espesor	milímetros	
					Contenido de humedad en base seca	kg agua/kg solido seco	
	Dependiente	Krupuk (galleta seca a base de almidón de yuca)	Codex Alimentarius (1994) define a la krupuk como una galleta seca, especificando que: “La galleta seca es un bocadillo tradicional elaborado con almidon y carne picada fresca de cualquiera de los peces de agua dulce, crustáceos y moluscos ”. (Pág.46)	Fisicoquímicos	Parámetros	Análisis	Unidades
					Humedad	%	
				Proteína	%		
				Hidratos de carbono	%		
				Materia grasa	%		
				Valor energético	Kcal/g		
				Microbiológicos	Coliformes fecales	UFC/g	
					Coliformes totales	UFC/g	
					Escherichia coli	UFC/g	
Organolépticos	Mohos y levaduras	UFC/g					
	Aroma	Escala hedónica					
	Olor						
	Sabor						
Textura							

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.6 Operacionalización de las variables para la obtención de krupuk

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de la materia prima

Para la caracterización de la materia prima se tomaron en cuenta los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y del camarón (*Litopenaeus vannamei*). En la figura 4.1, se muestra el almidón de yuca y el camarón.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1 Almidón de yuca y camarón

4.1.1 Análisis fisicoquímicos del almidón de yuca

En la tabla 4.1, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del almidón de yuca realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.1

Análisis fisicoquímico del almidón de yuca

Parámetros	Unidad	Resultado
Cenizas	%	0,21
Fibra	%	n.d.
Fósforo	mg/100g	96,40
Grasa	%	0,29
Hidratos de Carbono	%	89,02
Humedad	%	9,84
Proteína total (Nx6,25)	%	0,64
Valor energético	Kcal/100 g	361,25

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.1, se puede observar los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del almidón de yuca: Cenizas 0,21 %; Fibra no hay dato; Fósforo 96,4 mg/100g; Grasa 0,29 %; Hidratos de Carbono 89,02 %; Humedad 9,84 %; Proteína total (Nx6,25) 0,64 % y Valor energético 361,25 Kcal/100g.

4.1.2 Análisis fisicoquímico del camarón

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del camarón, realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.2

Análisis fisicoquímico del camarón

Parámetros	Unidad	Resultado
Cenizas	%	0,83
Fibra	%	n.d.
Fósforo	mg/100g	110,00
Grasa	%	0,09
Hidratos de Carbono	%	2,07
Humedad	%	76,50
Proteína total (Nx6,25)	%	20,51
Valor energético	Kcal/100 g	91,13

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.2, se puede observar los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del camarón: Cenizas 0,83 %; Fibra no hay dato; Fósforo 110 mg/100g; Grasa 0,09 %; Hidratos de Carbono 2,07 %; Humedad 76,5 %; Proteína total (Nx6,25) 20,51 % y Valor energético 91,13 Kcal/100g.

4.1.3 Análisis microbiológico del almidón de yuca

La tabla 4.3, muestra los resultados obtenidos del análisis microbiológico del camarón realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.3

Análisis microbiológico del almidón de yuca

Parámetros	Unidad	Resultado
Coliformes fecales	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Coliformes totales	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Escherichia coli	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y Levaduras	UFC/g	1,0 x 10 ¹ (*)

Fuente: CEANID, 2022

(*) No se observa desarrollo de colonias

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico del almidón de yuca, donde presenta <1,0x10¹ (*) UFC/g de Coliformes fecales; <1,0x10¹ (*) UFC/g de Coliformes totales; <1,0x10¹ (*) UFC/g de Escherichia coli y <1,0x10¹ (*) UFC/g de Mohos y Levaduras.

4.1.4 Análisis microbiológico del camarón

La tabla 4.4, muestra los resultados obtenidos del análisis microbiológico del camarón realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.4

Análisis microbiológico del camarón

Parámetros	Unidad	Resultado
Coliformes fecales	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Coliformes totales	UFC/g	< 1,0 x 10 ²
Escherichia coli	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y Levaduras	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)

Fuente: CEANID, 2022

(*) No se observa desarrollo de colonias

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico del camarón, donde presenta <1,0x10¹ (*) UFC/g de Coliformes fecales; <1,0x10² UFC/g de Coliformes totales; <1,0x10¹ (*) UFC/g de Escherichia coli; <1,0x10¹ (*) UFC/g de Mohos y Levaduras.

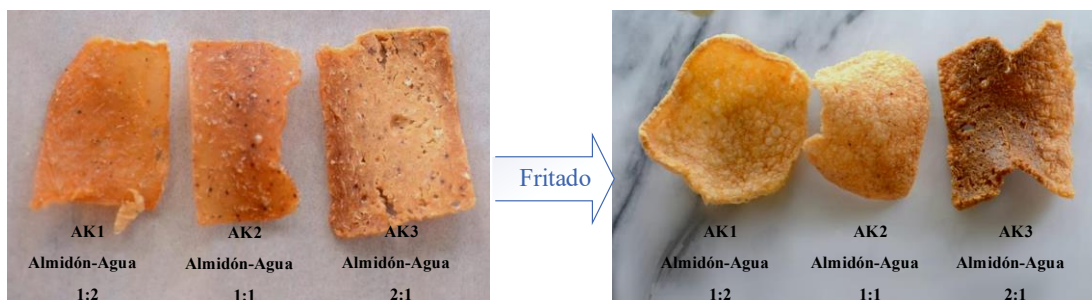
4.2 Ensayos experimentales para definir los procesos en la elaboración de krupuk

Los ensayos realizados tienen la finalidad de definir una manera eficaz de elaborar el producto deseado, se detallan las ventajas y desventajas de los diferentes procesos utilizados para la elaboración de las muestras.

4.2.1 Ensayo 1: Relación almidón-agua para la gelatinización del almidón

Para elaborar un producto a base de almidón de yuca destinado a ser frito, se debe realizar la gelatinización del almidón, operación que brinda la expansión del producto cuando se sumerge en aceite caliente obteniendo una textura crocante y suave. La gelatinización del almidón es afectada por dos factores, la cantidad de agua y la temperatura, cuando el almidón de yuca es calentado a 80 °C, los gránulos que lo constituyen comienzan a absorber el agua de su alrededor, si no hay suficiente agua no se completa la gelatinización uniforme de toda la mezcla, afectando la calidad en la fritura final.

En la figura 4.2, se puede observar tres muestras después del proceso de gelatinización y de frito, AK1 (1 parte de almidón de yuca por 2 partes de agua), AK2 (1 parte de almidón de yuca por 1 parte de agua), y AK3 (2 partes de almidón de yuca por 1 parte de agua), , fueron elaboradas con partes diferentes de agua y almidón de yuca, AK1 demuestran que la relación almidón-agua es un factor que afecta de manera significativa a las muestras, tanto en su apariencia como en su textura final.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Relación almidón-agua para una gelatinización óptima

En la figura 4.2, se puede observar que, la muestra AK1, contiene 1 parte de almidón por 2 partes de agua, siendo esta la muestra con más agua, su aspecto una vez gelatinizado es agradable y su textura es firme y resistente. Durante el fritado la muestra se expande el doble de su tamaño inicial y se obtiene un aspecto agradable con una textura crocante y suave.

La muestra AK2 contiene 1 parte de almidón por 1 parte de agua, su aspecto gelatinizado no es agradable, tiene una textura arenosa y se rompe con facilidad. Durante el fritado la muestra se expande poco y se obtiene un aspecto agradable con una textura crocante pero dura.

La muestra AK3 contiene 2 partes de almidón por 1 parte de agua, su aspecto gelatinizado no es agradable y su textura es arenosa y quebradiza. Durante el fritado la muestra no se expande, se obtiene un aspecto desagradable con un color oscuro y una textura dura.

Durante la gelatinización los gránulos de almidón absorben el agua y se hinchan hasta el punto en que explotan, después sus fragmentos se unen con el agua para crear una sustancia pegajosa y viscosa, cuando esta sustancia es enfriada comienza la retrogradación del almidón, donde las moléculas del almidón se realinean en cristales firmes. (Dergal, 2013). El agua absorbida durante la gelatinización es ahora atrapada dentro de estos cristales, durante el fritado, las temperaturas altas evaporan el agua que se encuentra atrapada en el almidón, la presión del vapor de agua rompe los cristales para darse paso hasta el exterior, esto es lo que causa la expansión y la textura crocante de la krupuk.

Mientras más agua se agrega a la mezcla, más agua quedará atrapada en los cristales de almidón y por ende más agua se evaporará en el proceso de fritado dando una muestra con mayor expansión y textura más crocante.

4.2.2 Ensayo 2: Selección del proceso de moldeado y del proceso de gelatinización

En la figura 4.3, se puede observar 5 muestras que fueron elaboradas empleando diferentes procesos de moldeado y de gelatinización para entender cómo afectan el desempeño final de nuestras muestras y planificar un proceso de elaboración fiable.



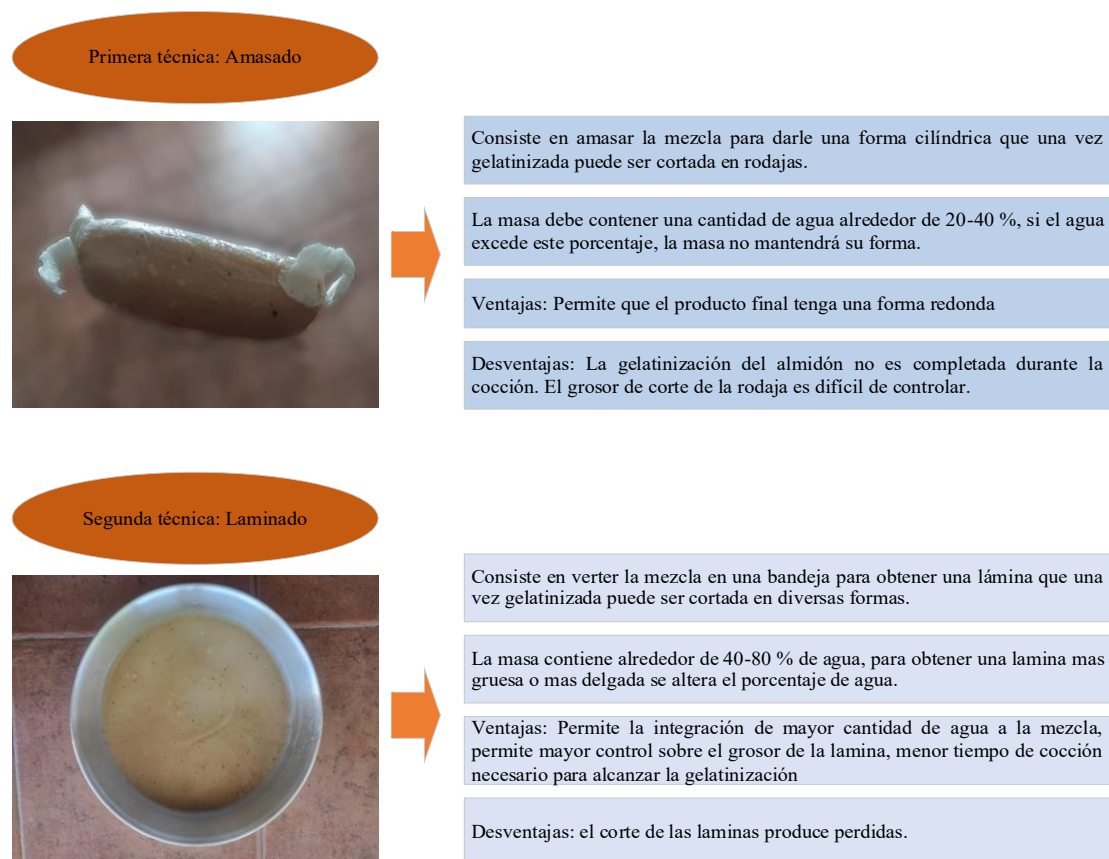
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Selección del proceso de moldeado y del proceso de gelatinización

4.2.2.1 Modificación en el proceso de moldeado

El proceso de moldeado permite dar la forma final al producto, la primera técnica, el amasado se realizó con la meta de obtener una forma cilíndrica que una vez gelatinizada pueda ser cortada en rodajas, se decidió cambiar la técnica por el laminado porque permite un mejor control sobre el espesor de la lámina y permite gelatinizar a mayor velocidad el almidón de yuca, debido a que con el laminado, la mezcla tiene más superficie de contacto con el calor y un volumen menor que el volumen obtenido en el amasado en forma cilíndrica.

En la figura 4.4 se precisa las ventajas y desventajas de las dos técnicas empleadas en el proceso de moldeado del krupuk.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4 Modificación en el proceso de moldeado

4.2.2.2 Modificación en el proceso de gelatinización

En la parte experimental, se observó que las pruebas realizadas utilizando la técnica de amasado en forma cilíndrica no alcanzaron una gelatinización completa. Como resultado, el interior de las muestras presenta una textura arenosa, este fenómeno se atribuye porque el calor generado por el vapor de agua resultó insuficiente para lograr la gelatinización adecuada, incluso al utilizar la técnica del laminado, que aumenta la superficie de contacto de la masa con el vapor, la mezcla no alcanzó una gelatinización completa.

Para abordar esta situación, se decidió cambiar la técnica de calentado. En lugar de depender únicamente del vapor de agua, se optó por introducir directamente la bandeja que contenía la masa en agua a 80 °C. Esta modificación permitió mejorar significativamente el proceso de gelatinización, logrando así una textura más homogénea y evitando el problema de la arenosidad en el interior de las muestras.

El proceso de gelatinización depende directamente del proceso de dosificación y del proceso de laminado, el agua añadida en la dosificación permite una mejor gelatinización, y el grosor de la lámina afecta el tiempo necesario para alcanzar la gelatinización.

En la figura 4.5 se precisa las ventajas y desventajas de las dos técnicas de calentamiento empleadas para lograr la gelatinización del almidón en el krupuk.

Primera técnica: Gelatinización por vapor de agua.



La masa moldeada o la masa en la bandeja son introducidos en un ambiente donde sean únicamente calentados por el vapor de agua.

El proceso se realiza con una tapa sobre la olla, esto ocasiona que el agua condensada en la tapa gotea sobre nuestra masa.

La masa no recibe calor suficiente para alcanzar la gelatinización.

Las muestras realizadas con esta técnica tienen una textura dura y no se expanden al ser fritadas.

Segunda técnica: Gelatinización por agua caliente (80°C).



La masa moldeada o la masa en la bandeja son introducidas directamente en el agua caliente.

Menor tiempo de calentado necesario para alcanzar la gelatinización..

Las muestras realizadas con esta técnica tienen una textura crocante y se expanden al ser fritadas.

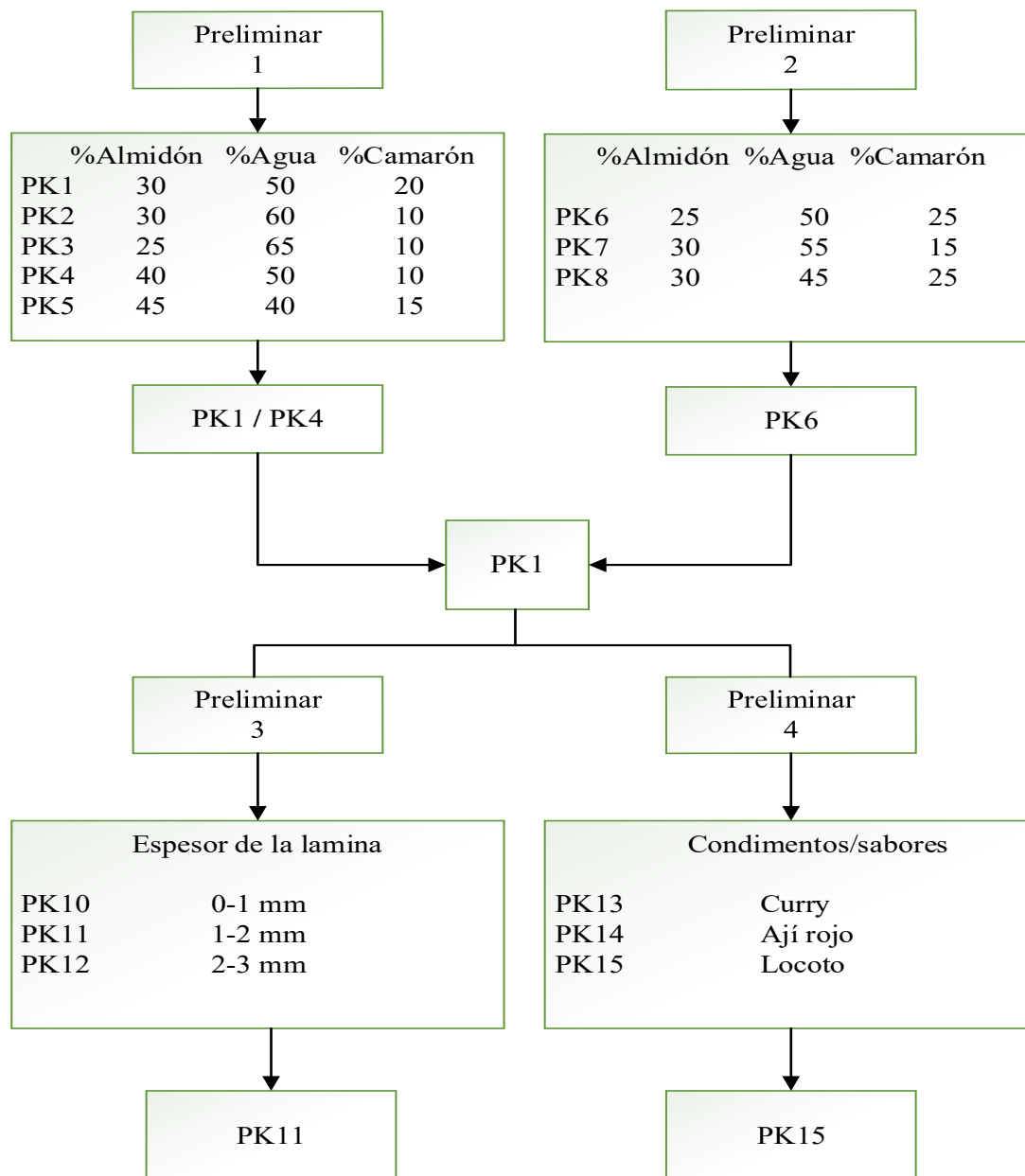
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 Modificaciones en las técnicas de calentamiento

4.3 Elaboración de pruebas preliminares de krupuk

Para la elaboración de muestras preliminares de krupuk, se procedió a elaborar 4 pruebas preliminares obteniendo quince muestras distintas. En las pruebas preliminares 1 y 2 se realizó la variación de la dosificación de almidón, agua y camarón, con la finalidad de establecer los porcentajes adecuados para la mezcla. La prueba preliminar 3 está formada por tres muestras con diferentes espesores. La prueba preliminar 4 consiste de tres muestras con diferentes especias utilizadas.

En la figura 4.6, se detalla las variaciones en el proceso de elaboración de las muestras y los resultados obtenidos.



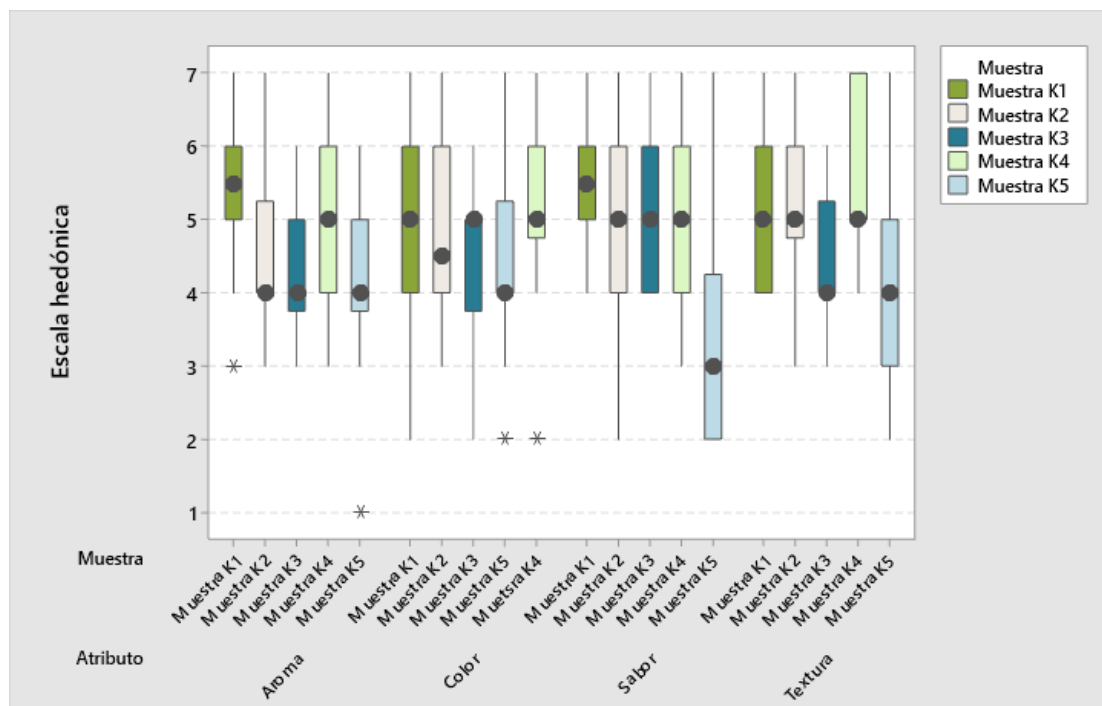
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 Elaboración de pruebas preliminares de krupuk

Posteriormente, las muestras fueron evaluadas por 20 jueces no entrenados con la finalidad de elegir la mejor muestra preliminar de krupuk. Las pruebas preliminares fueron determinadas mediante un test de evaluación sensorial hedónico y un test de evaluación sensorial comparativo.

4.3.1 Estadístico de caja y bigote en las muestras de la prueba preliminar 1

En la figura 4.7, se muestran los resultados de caja y bigotes para los atributos de aroma, color, sabor y textura en cinco muestras; datos extraídos de la tabla C.1 (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Estadístico de caja y bigote en la prueba preliminar 1

En la figura 4.7, se puede observar que para el atributo aroma la muestra K1 tiene una mediana de 5,50 con el 50 % de los encuestados calificando el aroma entre las valores 5 y 6 y un 75 % de los datos por arriba de 5, es decir que la muestra K1 tiene el aroma con mayor aceptación por los jueces, seguida por la muestra K4 que tiene una mediana de 4 con el 50 % de sus valores entre el 4 y el 6, es decir que la muestra K4 es la segunda muestra con mayor aceptación por los jueces pero tiene una dispersión de datos mayor que las otras muestras con el la totalidad de sus valores entre 3 y 7, la

tercera muestra con mayor aceptación por los jueces es la muestra K2 con una mediana de 4 y el 50 % de sus datos entre los valores 4 y 5,25, las muestras K3 y K5 tienen una mediana de 4 con el 50% de sus datos entre los valores 3,75 y 5, siendo las muestras menos aceptadas.

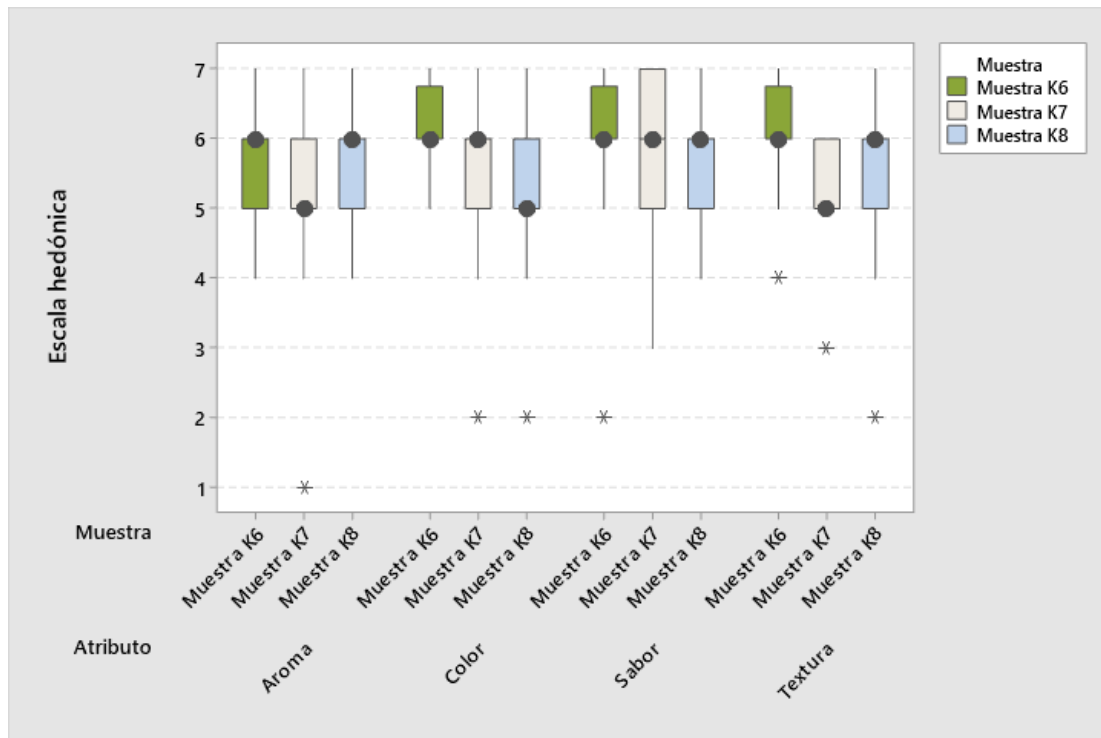
Para el atributo color la muestra K4 y K1 tienen una mediana de 5, pero la muestra K4 tiene mayor aceptación debido a su mayor aglomeración de datos favorables, con el 50 % de sus datos entre los valores 4,75 y 6, mientras que K1 presenta mayor dispersión con el 50 % de sus datos entre los valores 4 y 6. Las muestras K2 y K5 tienen una mediana de 4,5 y 4 por lo cual son rechazadas, la muestra K3 tiene una mediana de 5 con el 75 % de sus datos entre los valores 5 y 2, por lo cual es rechazada.

Para el atributo sabor la muestra K1 tiene una mediana de 5,5 con el 50 % de sus datos entre los valores 5 y 6, es decir que es la muestra con mayor aceptación, las muestras K2, K3, K4 tienen una mediana de 5 con el 50 % de sus valores entre 4 y 6, por lo cual cualquiera puede ser considerada. La muestra K5 tiene una mediana de 3, siendo la muestra menos aceptada, por lo cual es rechazada.

Para el atributo textura la muestra K4 tiene una mediana de 5 con el 75 % de sus datos entre 5 y 7, es decir que es la muestra con mayor aceptación, las muestras K1 y K2 tienen una mediana de 5 con 50 % de sus datos entre 5 y 7, por lo cual cualquiera puede ser considerada. La muestra K3 y K5 tienen una mediana de 4, por lo cual son rechazadas.

4.3.2 Evaluación sensorial de las muestras de la prueba preliminar 2

En la figura 4.8, se muestran los resultados de caja y bigotes para los atributos de aroma, color, sabor y textura en tres muestras; datos extraídos de la tabla C.2 (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 Estadístico de caja y bigote en la prueba preliminar 2

En la figura 4.8, se puede observar que para el atributo aroma las muestras K6 y K8 tienen una mediana de 6 con el 50 % de sus datos entre 5 y 6, es decir que son las muestras con mayor aceptación, seguidas por la muestra K7 con una mediana de 5, siendo menos aceptada, por lo cual es rechazada.

Para el atributo color las muestras K6 y K7 tiene una mediana de 6, la muestra K6 tiene el 75% de sus datos entre 6 y 7, mientras que la muestra K7 tiene 75 % de sus datos entre 4 y 6, por lo cual la muestra K6 es la muestra con mayor aceptación, seguidas por la muestra K8 que tiene una mediana de 5, es decir que es la muestra menos aceptada y es rechazada.

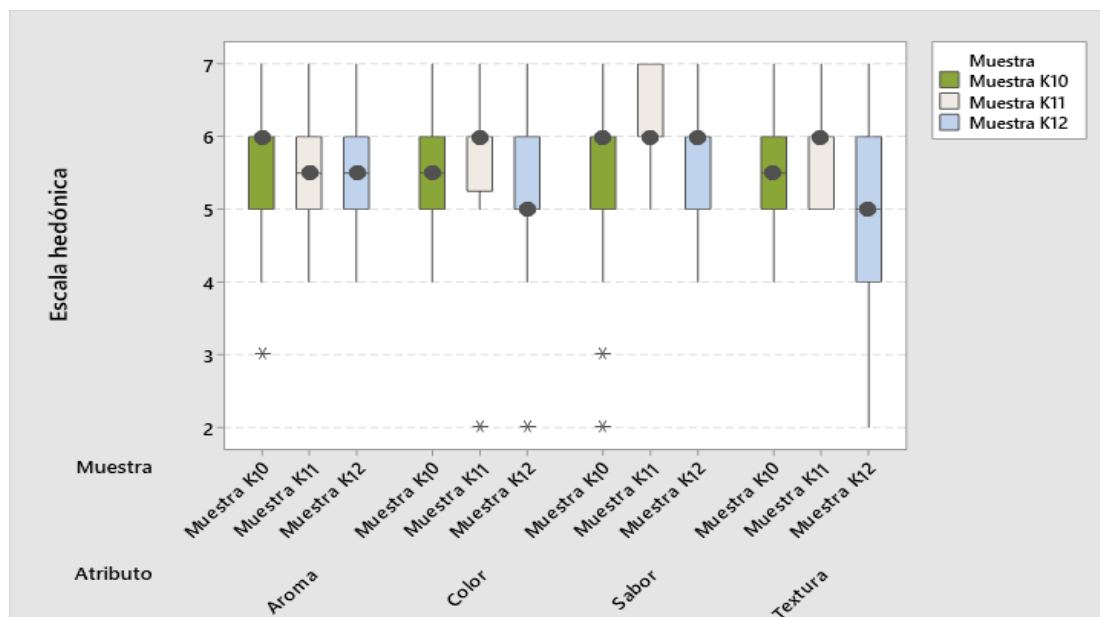
Para el atributo sabor las muestras K6, K7 y K8 tienen una mediana de 6, la muestra K6 tiene el 50 % de sus datos entre 6 y 6,75 con el 75 % de sus valores entre 6 y 7, la muestra K7 tiene el 50 % de sus datos entre 5 y 7, la muestra K8 tiene el 50 % de sus datos entre 5 y 6 con el 75 % de sus valores entre 5 y 7, es decir que K6 tiene menor

dispersión de datos y la mayor aglomeración de datos favorables, por lo cual K6 es la muestra con mayor aceptación.

Para el atributo textura la muestra K6 tiene una mediana de 6 con el 75 % de sus datos entre 6 y 7, es decir que es la muestra con mayor aceptación, seguida por las muestras K8 que tiene una mediana de 6 con el 75 % de sus datos entre 5 y 7, por lo cual puede ser considerada, y K7 que tiene una mediana de 5, siendo la muestra menos aceptada, por lo cual es rechazada.

4.3.3 Evaluación sensorial de las muestras de la prueba preliminar 3

En la figura 4.9, se muestran los resultados de caja y bigotes para los atributos de aroma, color, sabor y textura en tres muestras; datos extraídos de la tabla C-3 (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Estadístico de caja y bigote en la prueba preliminar 3

En la figura 4.9, se puede observar que para el atributo aroma las muestras K10, K11 y K12 tienen el 100 % de sus datos entre 4 y 7, al igual que el 75 % de sus datos entre 5 y 7 pero la muestra K10 tiene una mediana de 6 mientras que las muestras K11 y K12 tienen una mediana de 5,5, es decir que la muestra K10 tiene la mayor aceptación, seguidas por K11 y K12 que tienen menor aceptación, por lo cual son rechazadas.

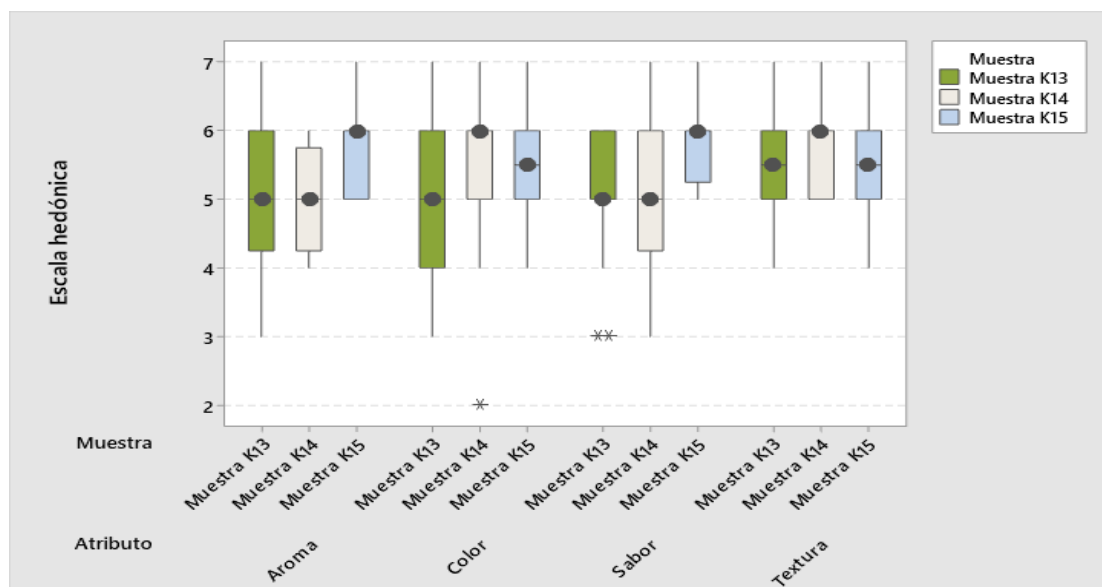
Para el atributo color la muestra K11 tiene una mediana de 6 con el 50 % de sus datos entre 6 y 7, es decir que es la muestra con mayor aceptación, seguida por las muestras K10 y K12 que tienen una mediana de 5,5 y 5 siendo las muestras menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo sabor la muestra K11 tiene una mediana de 6 con el 75 % de sus datos entre el 6 y 7, es decir que es la muestra con mayor aceptación, seguida por las muestras K10 y K12 que tienen una mediana de 6 con el 75 % de sus datos entre el 5 y 7, por lo cual tienen una mayor dispersión de datos y son rechazadas.

Para el atributo textura la muestra K11 tiene una mediana de 6 con el 50 % de sus datos entre el 6 y 7, es decir que es la muestra con mayor aceptación, seguida por la muestra K10 que tiene una mediana de 5,5 con 50 % de sus datos entre 5 y 6, y la muestra K12 que tiene una mediana de 5 con el 50% de sus valores entre 4 y 6, siendo las menos aceptadas, por lo cual son rechazadas.

4.3.4 Evaluación sensorial de las muestras de la prueba preliminar 4

La figura 4.10 muestra los resultados de caja y bigotes para los atributos de aroma, color, sabor y textura en tres muestras; datos extraídos de la tabla C-4 (Anexo C).



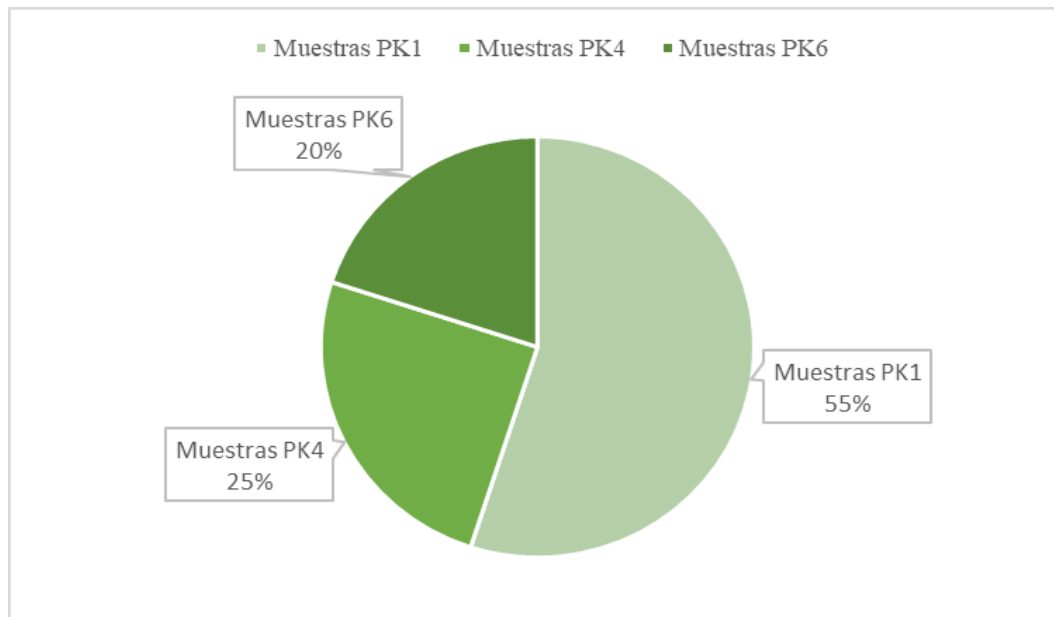
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10 Estadístico de caja y bigote en la prueba preliminar 4

En la figura 4.10, se puede observar que para el atributo aroma la muestra K15 tiene una mediana de 6 con 75 % de sus datos aglomerados entre 5 y 6, es decir que es la muestra con mayor aceptación, seguida por las muestras K13 y K14 que tienen una mediana de 5, por lo cual son menos aceptadas y son rechazadas. Para el atributo color la muestra K14 tiene una mediana de 6 con el 50 % de sus datos entre 5 y 6, es decir que es la muestra con mayor aceptación, seguida por la muestra K15 que tiene el 50 % de sus datos entre 5 y 6 con una mediana de 5,5, y la muestra K13 que tiene una mediana de 5 con el 50 % de sus datos entre el 4 y 6, por lo cual es la muestra menos aceptada y es rechazada. Para el atributo sabor la muestra K15 tiene una mediana de 6 con el 100 % de sus datos entre 5 y 7, siendo la muestra con mayor aceptación, seguida por las muestras K13 y K14 que tienen una mediana de 5 con una mayor dispersión de datos, por lo cual son menos aceptadas y rechazadas. Para el atributo textura la muestra K14 tienen una mediana de 6 con 50 % de sus datos entre los valores 6 y 7, es decir que es la muestra con mayor aceptación, seguida por las muestras K13 y K15 que tienen una mediana de 5 con 50 % de sus datos entre 5 y 6, por lo cual son menos aceptadas y rechazadas.

4.3.5 Elección de la muestra ideal

En la figura 4.11, se muestra el porcentaje de aceptación entre las muestras PK1, PK4 y PK6; datos extraídos de la tabla C-5 (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 Elección de muestra ideal

En la figura 4.11, se puede observar que la muestra PK1 tiene una preferencia del 55% por parte de los jueces en comparación de las muestras PK4 y PK6, por lo tanto, se elige a la muestra PK1 como muestra ideal.

4.4 Diseño experimental en el proceso de secado para obtener krupuk

El diseño experimental determinó los factores que tienen mayor influencia en el proceso de secado y la interacción de factores adecuada para obtener los resultados deseados. Así mismo, se realizó en función de los niveles de variación del diseño experimental 2^3 de acuerdo a la tabla 3.11. Donde los factores a tomar en cuenta son, temperatura de secado (40 y 50 °C), tiempo de secado (4 y 6 horas), tipo de espesor (1 y 2 milímetros) y la variable respuesta, la humedad en base seca.

En la tabla 4.5, se muestran los resultados del contenido de humedad en base seca de la variable respuesta del proceso de secado para obtener krupuk.

Tabla 4.5

Contenido de humedad en base seca del proceso de secado de las muestras

Combinación de tratamientos	Variables			Replica I	Replica II	Valores ajustados
	Temperatura	Tiempo	Tipo de espesor			
	A	B	C			
1	40	4	1	0,98	1,12	1,05
a	50	4	1	0,76	0,82	0,79
b	40	6	1	0,55	0,81	0,68
ab	50	6	1	0,36	0,42	0,39
c	40	4	2	2,5	2,36	2,43
ac	50	4	2	1,64	2,12	1,88
bc	40	6	2	0,93	1,77	1,35
abc	50	6	2	1,07	0,81	0,94

Fuente: Elaboración propia

4.4.1 Análisis de varianza del diseño experimental en el proceso de secado para obtener krupuk

En la tabla 4.6, se muestra los resultados del análisis de varianza del diseño experimental 2^3 para las muestras elaboradas.

Tabla 4.6

Análisis de varianza del diseño experimental en el proceso de secado

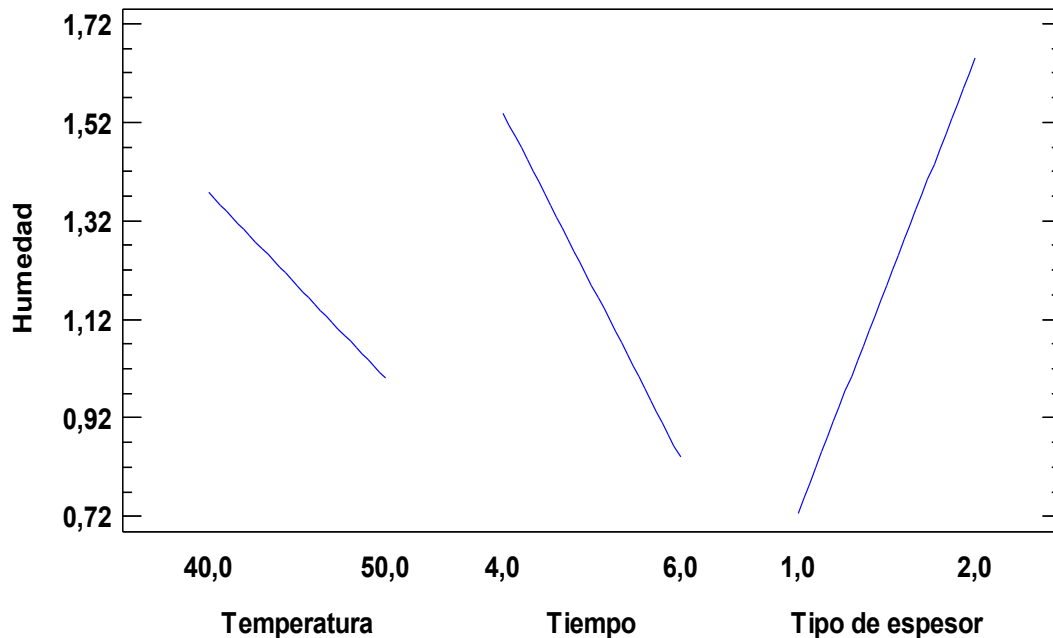
Fuente de varianza	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Temperatura	0,57003	1	0,57003	9,06	0,0147
B:Tiempo	1,94603	1	1,94603	30,94	0,0004
C:Tipo de espesor	3,40403	1	3,40403	54,13	0,0000
AB	0,00303	1	0,00303	0,05	0,8313
AC	0,04203	1	0,04203	0,67	0,4348
BC	0,39063	1	0,39063	6,21	0,0343
Error total	0,56603	9	0,06289	-	-
Total (corr.)	6,92178	15	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los datos del análisis de varianza del diseño experimental, tabla 4.6, se observa que el factor tipo de espesor (C), es significativo para el proceso de secado porque el valor-P $< 0,05$. Por otro lado, para los factores temperatura de secado (A), tiempo de secado (B) y las interacciones (AB, AC, BC) no existe diferencia

significativa, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para un límite de confianza del 95 %.

En la figura 4.12, se muestran los efectos principales para los factores: temperatura de secado (A), tiempo de secado (B) y tipo de espesor (C), con relación a la variable respuesta, contenido de humedad en base seca de las muestras del diseño experimental.



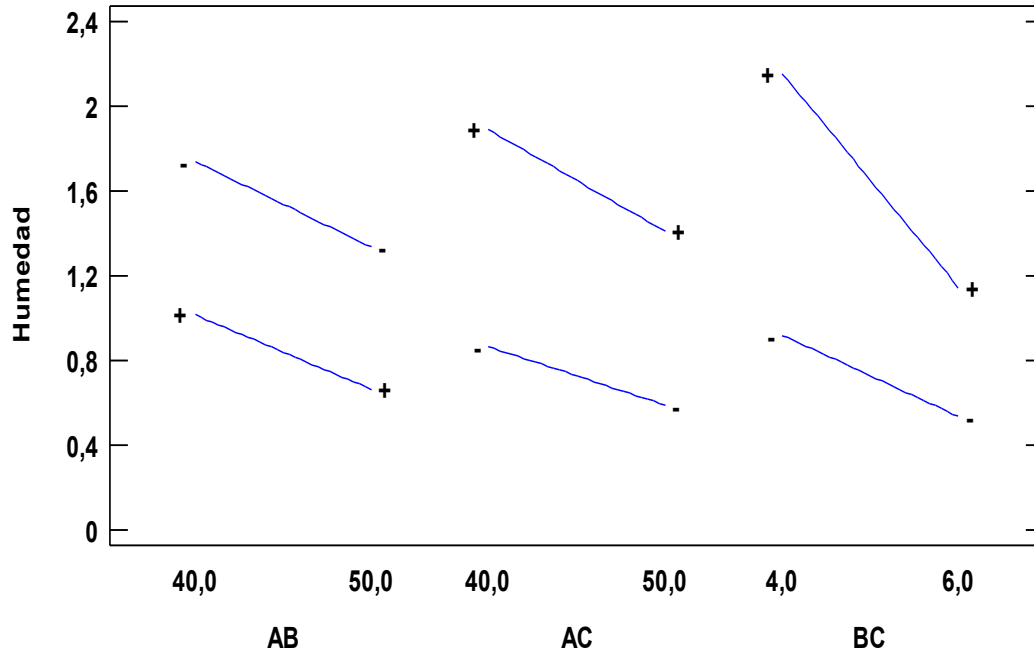
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Efectos principales de los factores con relación al contenido de humedad

En la figura 4.12, se observa que los factores temperatura (40-50) °C y tiempo (4-6) horas, presentan una pendiente negativa, por lo tanto, disminuyen la variable respuesta de humedad e indican mayor pérdida de humedad en sus niveles altos (50°C-6 h). Por otro lado, el factor tipo de espesor (1-2) milímetros, presenta una pendiente positiva indicando que dificulta más la pérdida de humedad si se encuentra en su nivel alto y que la pérdida de humedad es mayor en su nivel bajo (1 mm). La pendiente del factor tipo de espesor tiene el mayor efecto sobre la variable respuesta de humedad.

En la figura 4.13, se muestra la interacción de los factores AB (temperatura-tiempo), AC (temperatura-tipo de espesor) y BC (tiempo-tipo de espesor), con relación la

variable respuesta (contenido de humedad en base seca) de las muestras del diseño experimental.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Interacciones de los factores con relación al contenido de humedad

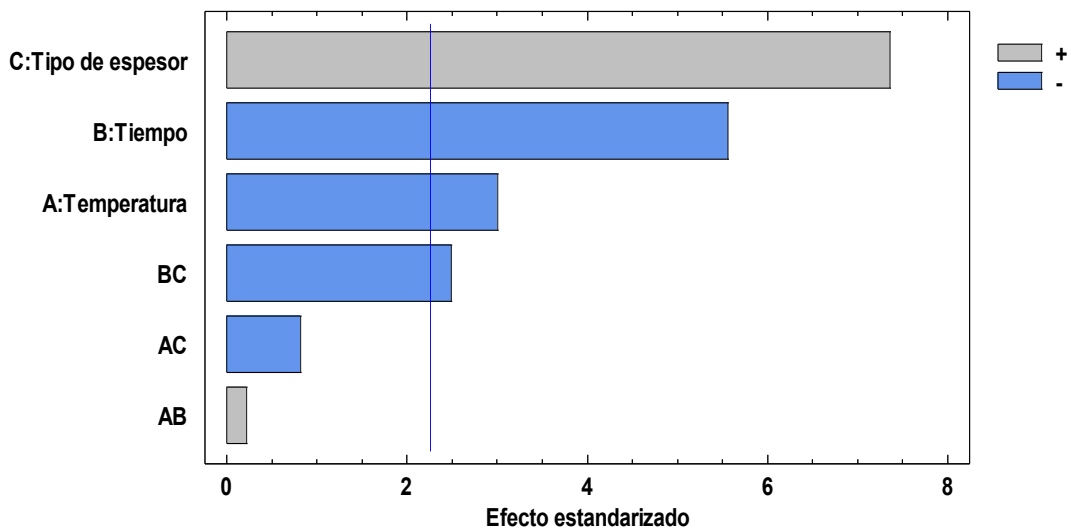
La figura 4.13, indica que el contenido de humedad en base seca para la interacción AB es afectado mayormente por el cambio de nivel del factor B, tiempo, debido a que la humedad obtenida con una temperatura de 50 °C y un tiempo de 4 horas no es demasiado diferente a la humedad obtenida con una temperatura de 40 °C y un tiempo de 6 horas, existe una mayor pérdida de humedad cuando la muestra tiene un tiempo de 6 horas, tanto con el factor temperatura en su nivel alto y bajo (50 y 40 °C), mientras que cuando la muestra tiene una temperatura de 50 °C con el factor de tiempo en su nivel bajo 4 horas, la pérdida de humedad es menor.

En la interacción AC se presenta un efecto significativo sobre la humedad en base seca, se observa que si el factor C se encuentra en su nivel bajo (1 mm) se obtiene una mayor pérdida de humedad, sin importar que el factor A se encuentre en su nivel bajo (40 °C), donde produce menos pérdida de humedad, lo que demuestra que el factor C, tipo de

espesor, tiene el mayor efecto sobre la pérdida de humedad en la interacción, mientras que la temperatura tiene mayor importancia cuando el tipo de espesor se encuentra en su nivel alto (2mm).

En la interacción BC se presenta un efecto significativo sobre la humedad en base seca, se observa que si el factor C se encuentra en su nivel bajo (1 mm) se obtiene una mayor pérdida de humedad, sin importar que el factor B se encuentre en su nivel bajo (4 h), donde produce menos pérdida de humedad, lo que demuestra que el factor C, tipo de espesor, tiene el mayor efecto sobre la pérdida de humedad en la interacción, mientras que el tiempo tiene mayor importancia cuando el tipo de espesor se encuentra en su nivel alto (2mm), donde se disminuye significativamente la humedad en su nivel alto (6 h) en comparación de su nivel bajo (4 h).

En la figura 4.14, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores del diseño experimental 2^3 que se tomaron en cuenta, la línea azul representa el valor crítico (2,31) en un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ y 9 grados de libertad. Los efectos que superan la línea de referencia azul serán significativos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Pareto estandarizado para el diseño experimental

En la figura 4.14, se puede observar que las interacciones AC (temperatura - tipo de espesor) y AB (temperatura - tiempo) no sobrepasan la línea de referencia azul, por lo

tanto, no son estadísticamente significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Los factores C (tipo de espesor), B (tiempo), A (temperatura) e interacción BC (tiempo-tipo de espesor) sobrepasan la línea de referencia azul, por lo tanto, son significativos para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

4.4.1.1 Coeficiente de regresión para el contenido de humedad en base seca de las muestras del diseño experimental

En la ecuación 4.1, se indica el modelo de regresión lineal ajustado a los datos experimentales para el contenido de humedad en base seca de las muestras de datos extraídos de la tabla E.1 del (Anexo E).

$$\text{Humedad} = 0,13875 - 0,02075*A - 0,00375*B + 3,4075*C + 0,00275*A*B - 0,0205*A*C - 0,3125*B*C$$

Ecuación 4.1

Donde:

A: Temperatura (°C)

B: Tiempo (h)

C: Tipo de espesor (mm)

4.4.1.2 Optimización de la variable respuesta de las muestras del diseño experimental

En la tabla 4.7 se muestran los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras, donde los tratamientos y variables empleados se describen en la tabla 4.5, de datos extraídos de la tabla E.2 del (Anexo E).

Tabla 4.7

Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	40	50	50
Tiempo	4	6	6
Tipo de espesor	1	2	1

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.7, se puede observar los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras, donde los valores son: Temperatura 50 %, tiempo 6 horas y tipo de espesor 1 mm.

En la tabla 4.8 se muestran los valores óptimos para maximizar el contenido de humedad en base seca de las muestras, donde los tratamientos y variables empleados se describen en la tabla 4.5, de datos extraídos de la tabla E.3 Anexo E.

Tabla 4.8

Valores óptimos para maximizar el contenido de humedad en base seca

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	40	50	40
Tiempo	4	6	4
Tipo de espesor	1	2	2

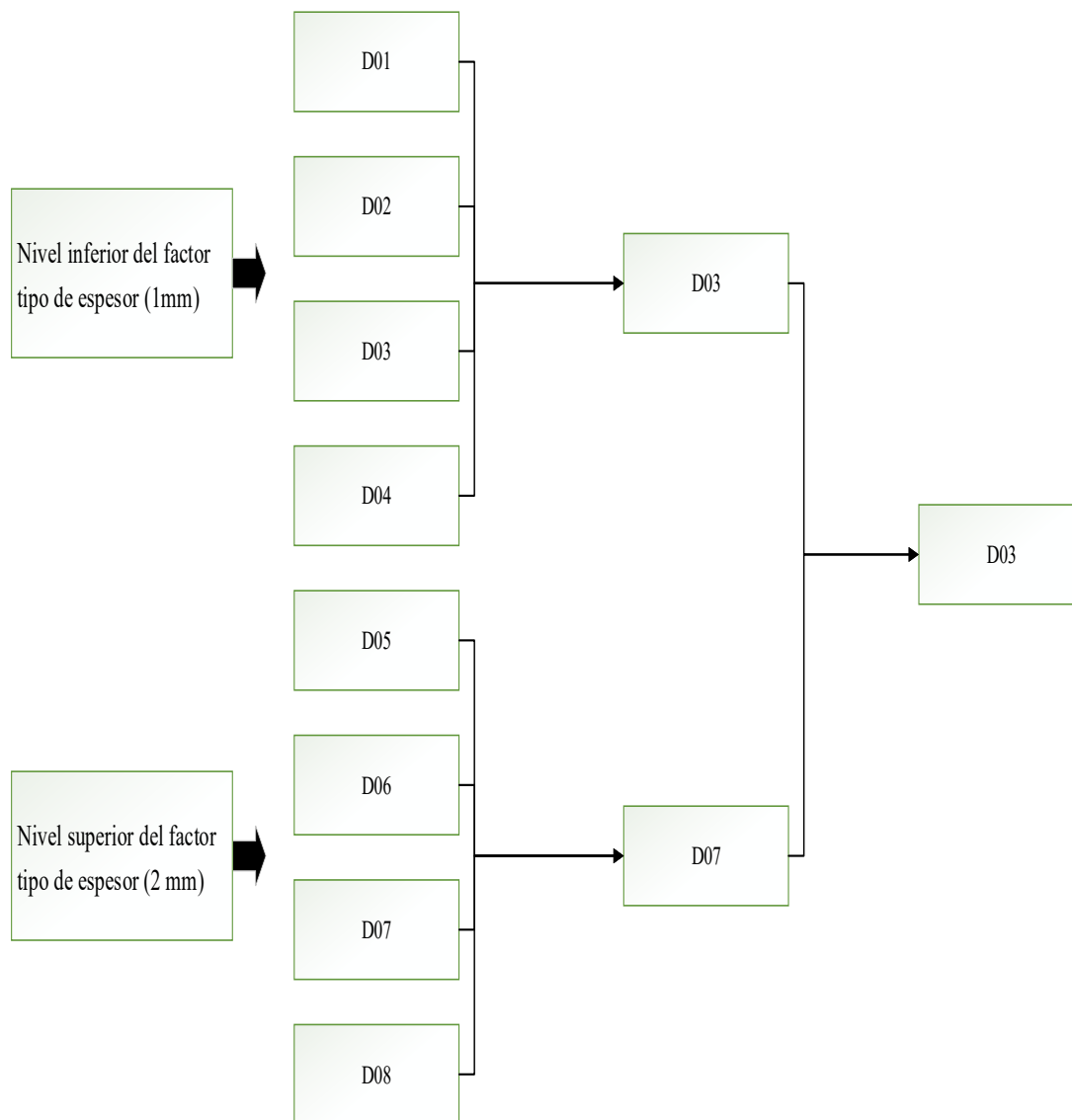
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.8, se puede observar los valores óptimos de los factores para maximizar el contenido de humedad en base seca de las muestras, donde los valores son: Temperatura 40 %, tiempo 4 horas y tipo de espesor 2 milímetros.

4.4.2 Evaluación sensorial de las muestras del diseño experimental

Se realizó una evaluación sensorial para determinar si existe diferencia apreciable por los sentidos entre las muestras experimentales, utilizando una escala hedónica de siete puntos con jueces no entrenados.

En la figura 4.15, se presenta los resultados de la evaluación sensorial de las muestras obtenidas durante las pruebas del diseño experimental.

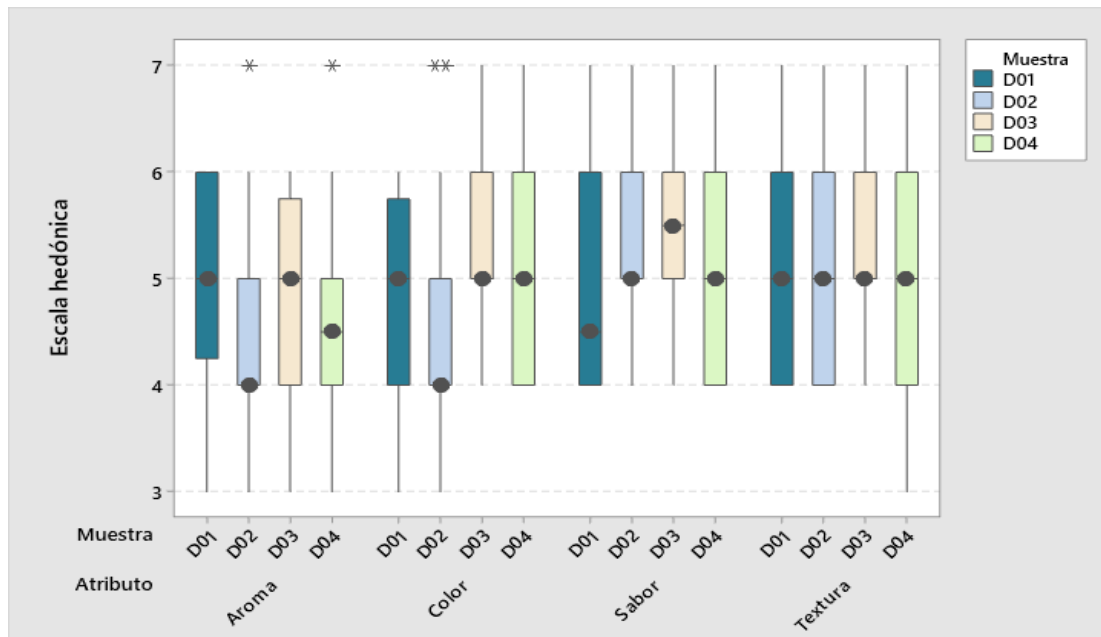


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Evaluación sensorial en las muestras experimentales

4.4.2.1 Estadístico de caja y bigotes de las muestras experimentales para el nivel inferior del factor tipo de espesor

En la figura 4.16, se muestran los resultados del estadístico de caja y bigotes para los atributos de aroma, color, sabor y textura de las muestras experimentales con el factor tipo de espesor en su nivel bajo, datos extraídos del (Anexo C), para el atributo; aroma (tabla C.5), color (tabla C.6), sabor (tabla C.7), textura (tabla C.8).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16 Estadístico de caja y bigotes para el nivel inferior del factor tipo de espesor

En la figura 4.16, se puede observar que para el atributo aroma que la muestra D01 tiene una mediana de 5 con el 75 % de sus datos entre 4,25 y 6, siendo la muestra con mayor aceptación, seguida por la muestra D02 que tiene una mediana de 5 con el 75 % de sus datos entre 4 y 5,75, y las muestras D04 y D02 tienen una mediana de 4,5 y 4, es decir que son las muestras menos aceptadas y se rechazan.

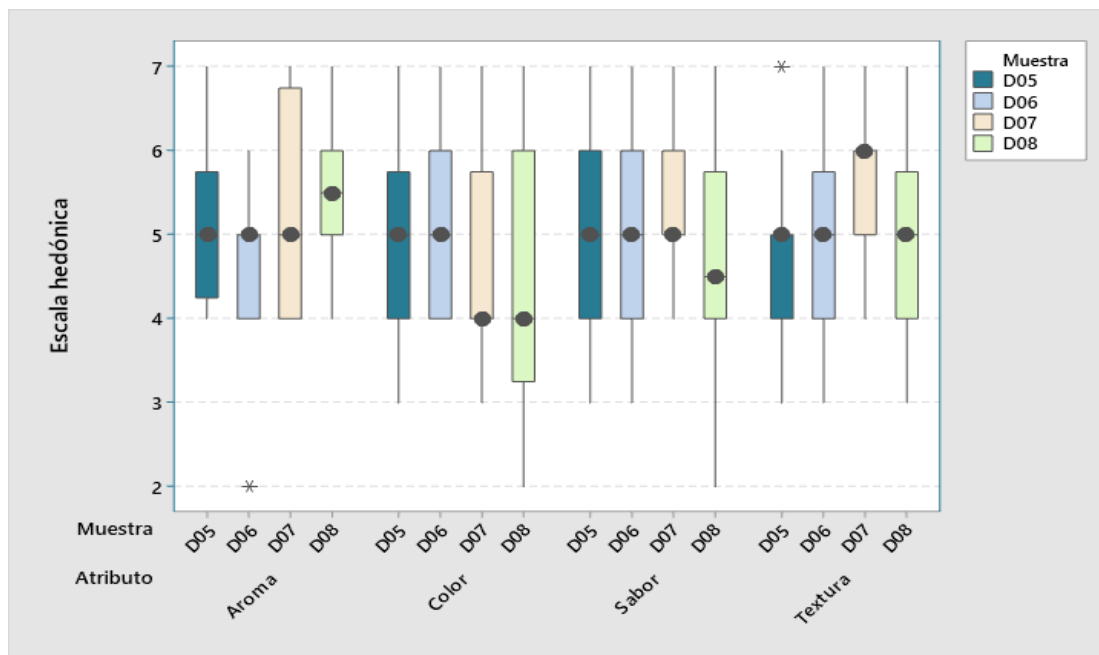
Para el atributo color la muestra D03 tiene una mediana de 5 con una aglomeración de datos del 75 % entre 5 y 7, es decir que es la muestra con mayor aceptación, seguida por D04 y D01 que tienen una mediana de 5 con el 75 % de sus datos entre 4 y 6, la muestra con menor aceptación es D02 con una mediana de 4, por lo cual es rechazada.

Para el atributo sabor la muestra D03 tiene una mediana de 5,5 con 50 % de sus datos entre 5 y 6, es decir que es la muestra con mayor aceptación, seguida por la muestra D02 que tiene una mediana de 5 con el 50 % de sus entre 5 y 6, las muestras menos aceptadas son D04 y D01 que tienen una mediana de 5 y 4,5 con el 75 % de sus datos entre el 4 y 6, por lo cual son rechazadas. Para el atributo textura la muestra D03 tiene una mediana de 5 con el 75 % de sus datos entre el 5 y 7, siendo la muestra con mayor aceptación, seguida por las muestras D01 y D02 que tienen una mediana de 5 con 75 % de sus datos entre 4 y 6, la muestra con menor aceptación es la D04 con una mediana de 5 con 75 % de sus datos entre 3 y 6, por la cual la muestra se rechaza. El análisis de varianza de las muestras demostró que no existe diferencia significativa en los valores de los atributos para un nivel de confianza del 95 %.

De acuerdo al análisis estadístico de caja y bigotes se determinó elegir la muestra D03.

4.4.2.2 Estadístico de caja y bigotes de las muestras experimentales para el nivel superior del factor tipo de espesor

En la figura 4.17, se muestran los resultados del estadístico de caja y bigotes para las muestras experimentales con el factor tipo de espesor en su nivel bajo, datos extraídos del (Anexo C), para el atributo; aroma (tabla C.9), color (tabla C.10), sabor (tabla C.11), textura (tabla C.12).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17 Estadístico de caja y bigotes para el nivel superior del factor tipo de espesor

En la figura 4.17 se puede observar que para el atributo aroma la muestra D08 tiene una mediana de 5,5 con el 75 % de sus datos entre 5 y 7, es decir que es la muestra con mayor aceptación, seguida por la muestra D07 con una mediana de 5 y una dispersión de datos mayor, tiene el 50 % de sus datos entre 5 y 7, las muestras con menor aceptación son D05 y D06 con una mediana de 5 con 50 % de sus datos por debajo del valor 5, por lo cual son rechazadas.

Para el atributo color, la muestra D06 tiene una mediana de 5 con 75 % de sus datos entre 4 y 6, siendo la muestra con mayor aceptación, seguida por las muestras D05, D07 y D08 que tienen una mediana de 5, 4 y 4, tienen una mayor dispersión de datos, por lo cual son las muestras menos aceptadas y son rechazadas.

Para el atributo sabor la muestra D07 tiene una mediana de 5 con el 75 % de sus datos entre 5 y 7, es decir que es la muestra con mayor aceptación, seguida por D05 y D06 que tienen una mediana de 5 con el 75 % de sus datos entre 4 y 7, la muestra con menor aceptación es D08 con una mediana de 4,5, por lo cual es rechazada.

Para el atributo textura la muestra D07 tiene una mediana de 6 con 50 % de sus datos entre 5 y 6, siendo la muestra con mayor aceptación, seguida por las muestras D06 y D08 que tienen una mediana de 5 con el 50 % de sus datos entre el 4 y 5,75, y la muestra con menor aceptación es D05 que tiene 5 con el 50 % de sus datos entre 4 y 5, por lo cual es rechazada. Así mismo, el análisis de varianza de las muestras demostró que existe diferencia significativa en los valores del atributo textura para un nivel de confianza del 95 %.

4.4.2.2.1 Estadístico Tukey en el atributo textura para el nivel superior del factor tipo de espesor

En la tabla 4.9, se muestra el estadístico Tukey para el atributo textura de las muestras del diseño experimental para el nivel superior del factor tipo de espesor de datos extraídos de la tabla C.12.2 de (Anexo C).

Tabla 4.9

Estadístico Tukey para el atributo textura del nivel superior

Factor	N	Media	Agrupación	
D07	20	5,7	A	
D08	20	4,9	A	B
D05	20	4,8		B
D06	20	4,8		B

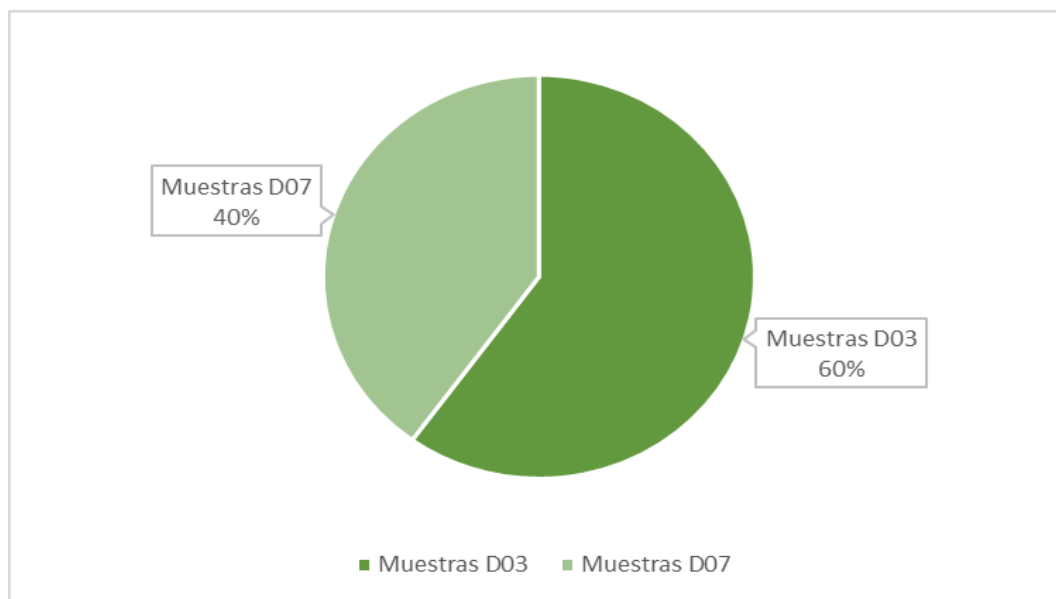
Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.9 se puede concluir que existe diferencia significativa en el atributo textura, entre las muestras (D07 - D05), (D07 - D06), sin embargo, para las muestras, (D07 - D08), (D08 - D05) y (D08 - D06) no existe diferencia significativa para un nivel de confianza del 95 %.

De acuerdo al análisis estadístico Tukey para el nivel superior del factor tipo de espesor, se eligió la muestra D07, ya que presenta diferencia significativa en relación a las otras muestras y presentó mayor aceptación por parte de los jueces en los atributos aroma, sabor y textura.

4.4.2.3 Elección de muestra final

En la figura 4.18, se muestra el resultado porcentual del test comparativo de la preferencia entre las muestras D07 y D03 por parte de los jueces, datos extraídos de la tabla C.13 del (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18 Elección de muestra ideal

En la figura 4.18, se puede observar que la muestra D03 tiene una preferencia del 60% por parte de los jueces en comparación de los 40 % de preferencia de la muestra D07. Por lo cual, se eligió la muestra experimental D03 como muestra final.

4.5 Influencia del contenido de humedad en la etapa de secado de las muestras de krupuk

Para calcular la variación de pérdida de humedad, se determinó a partir de la variación de pérdida de peso en relación al tiempo que se controló durante la etapa de secado, partiendo con muestras con un peso inicial de 100 g.

Según (Ibarz & Barbosa, 2005) el contenido de humedad de las muestras se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólido seco y se calcula según la ecuación 4.2.

$$X = \frac{Wi - SS}{SS} = \text{kg de agua/kg de solido seco} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

El valor numérico del solido seco se calcula en función de la ecuación 4.3.

$$SS = Wi * \left(1 - \frac{HBH}{100}\right) \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Donde:

SS: Sólido seco (g de agua/g de sólido seco)

Wi: Masa inicial (g)

HBS: Humedad en base seca (%)

HBH: Humedad en base húmeda (%)

En la tabla 4.10, se muestra los niveles de variación de las variables, temperatura (A), tiempo (B) y tipo de espesor (C) para analizar la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras.

Tabla 4.10

Variables para el análisis de contenido de humedad en base seca

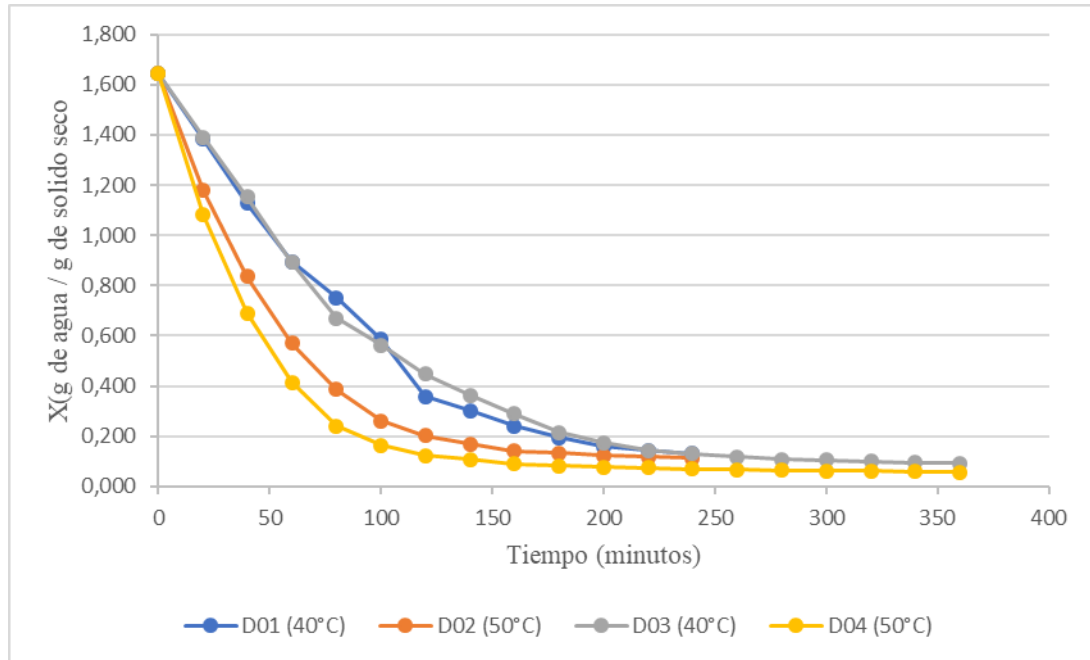
Tratamiento	Variables		
	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Tipo de espesor (mm)
	A	B	C
D01	40	4	1
D02	50	4	1
D03	40	6	1
D04	50	6	1
D05	40	4	2
D06	50	4	2
D07	40	6	2
D08	50	6	2

Fuente: Elaboración propia

4.5.1 Variación del contenido de humedad en el nivel inferior del factor tipo de espesor para las muestras D01, D02, D03 y D04

En la figura 4.19, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca en relación al tiempo, el peso de las muestras se controló cada 20 minutos, los

factores temperatura y tiempo de secado varían entre su nivel bajo (40 °C – 4 h) y alto (50°C – 6 h), mientras que el factor tipo de espesor se mantiene constante en su nivel bajo (1 mm), los datos obtenidos para realizar la curva se encuentran en la (tabla F.1), (tabla F.2), (tabla F.3) y (tabla F.4) del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia

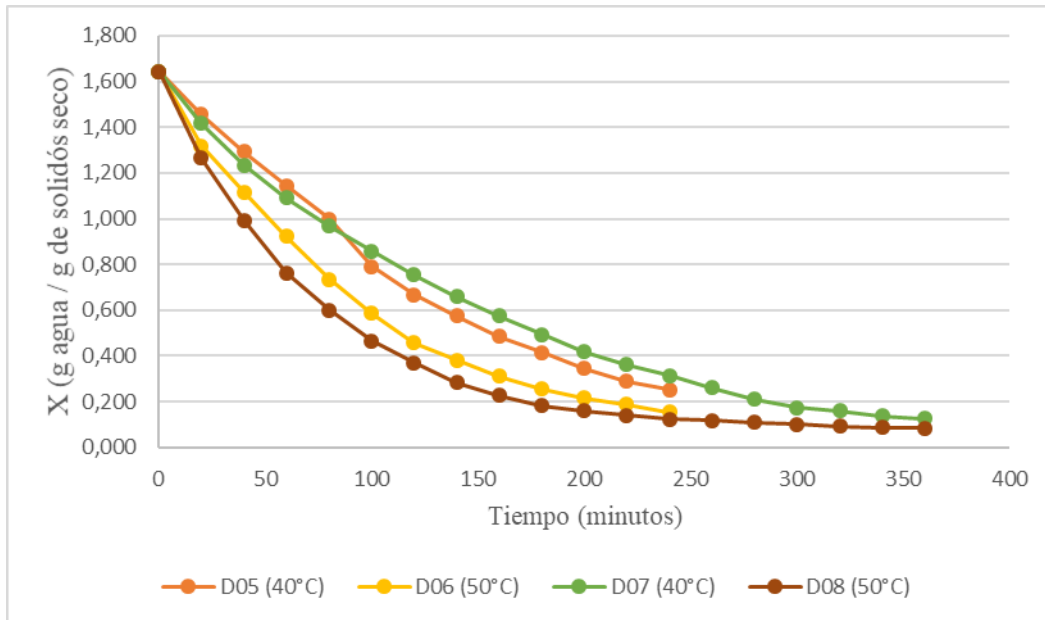
Figura 4.19 Variación del contenido de humedad en el nivel inferior del factor tipo de espesor para las muestras D01, D02, D03 y D04

En la figura 4.19, se puede observar que el incremento de la temperatura entre (40 a 50) °C favorece a la velocidad de secado de manera pronunciada al inicio del proceso, a medida que se realiza el secado se observa que el factor tiempo tiene mayor influencia en el proceso, debido a que la muestra D04 y D03 terminan el proceso con una pérdida de humedad similar, a pesar que la muestra D04 se realizó a una temperatura mayor (50°C) que la muestra D03 (40°C).

4.5.2 Variación del contenido de humedad en el nivel superior del factor tipo de espesor para las muestras D05, D06, D07 y D08

En la figura 4.20, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca en relación al tiempo, el peso de las muestras se controló cada 20 minutos, los

factores temperatura y tiempo de secado varían entre su nivel bajo (40 °C – 4 h) y alto (50°C – 6 h), mientras que el factor tipo de espesor se mantiene en su nivel bajo (1 mm), los datos obtenidos para realizar la curva se encuentran en la (tabla F.5), (tabla F.6), (tabla F.7) y (tabla F.8) del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia

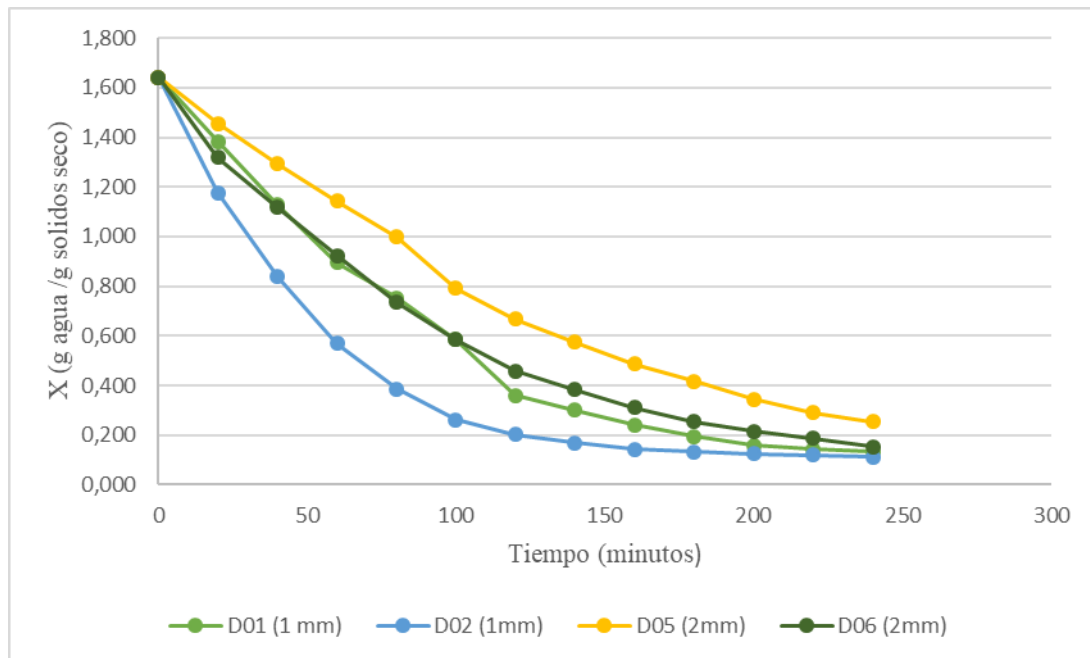
Figura 4.20 Variación del contenido de humedad en el nivel superior del factor tipo de espesor para las muestras D05, D06, D07 y D08

En la figura 4.20, se puede observar que el incremento de la temperatura entre (40 a 50) °C favorece a la velocidad de secado de manera pronunciada al inicio del proceso, perdiendo su relevancia mientras el tiempo avanza, al continuar el secado se observa que el factor tiempo tiene mayor importancia durante el proceso, debido a que la muestra D07 y D08 tienen una pérdida de humedad similar, a pesar que la muestra D08 tuvo una temperatura mayor (50°C) que la muestra D07 (40°C).

4.5.3 Variación del contenido de humedad en el nivel inferior del factor tiempo para las muestras D01, D02, D05 y D06

En la figura 4.21, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca en relación al tiempo, el peso de las muestras se controló cada 20 minutos, los factores temperatura y tiempo de secado varían entre su nivel bajo (40 °C – 4 h) y alto

(50°C – 6 h), mientras que el factor tipo de espesor se mantiene en su nivel bajo (1 mm), los datos obtenidos para realizar la curva se encuentran en la (tabla F.1), (tabla F.2), (tabla F.5) y (tabla F.6) del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia

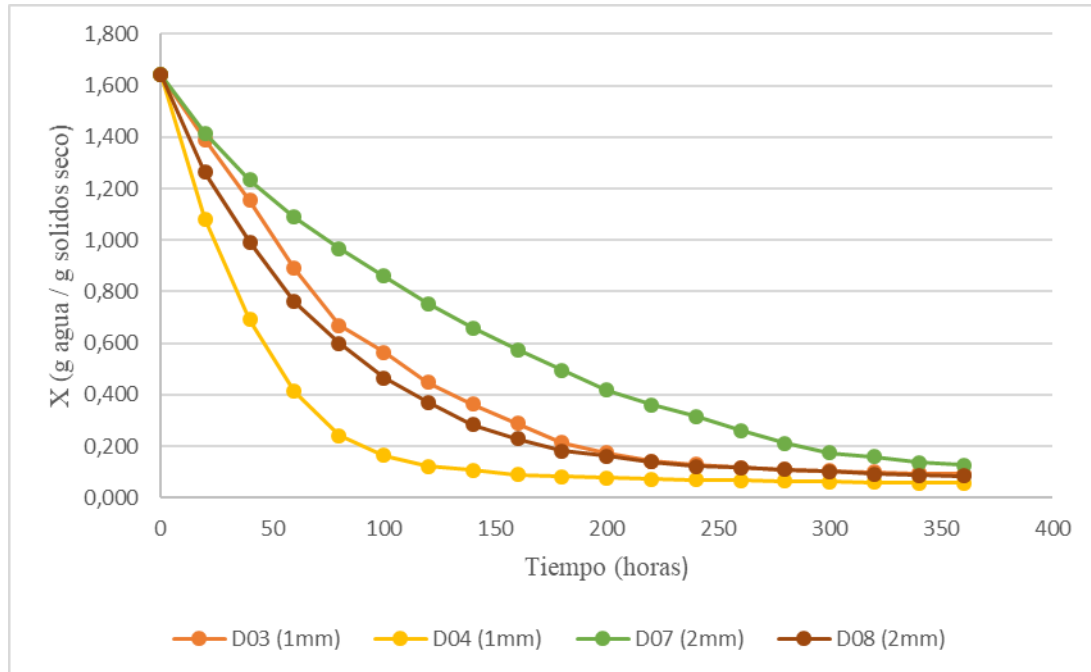
Figura 4.21 Variación del contenido de humedad en el nivel inferior del factor tiempo para las muestras D01, D02, D05 y D06

En la figura 4.21 se repite el patrón que indica que la temperatura no tiene una influencia de gran magnitud sobre la pérdida del contenido de humedad, debido a que las muestras D01, D02, D05 y D06 tienen diferente tipo de espesor, que afecta de gran manera a la pérdida de humedad, pero al variar únicamente la temperatura las muestras terminan con un contenido de humedad similar.

4.5.4 Variación del contenido de humedad en el nivel superior del factor tiempo para las muestras D03, D04, D07 y D08

En la figura 4.22, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca en relación al tiempo, el peso de las muestras se controló cada 20 minutos, los factores temperatura y tiempo de secado varían entre su nivel bajo (40 °C – 4 h) y alto (50°C – 6 h), mientras que el factor tipo de espesor se mantiene en su nivel bajo (1

mm), los datos obtenidos para realizar la curva se encuentran en la (tabla F.3), (tabla F.4), (tabla F.7) y (tabla F.8) del Anexo F.



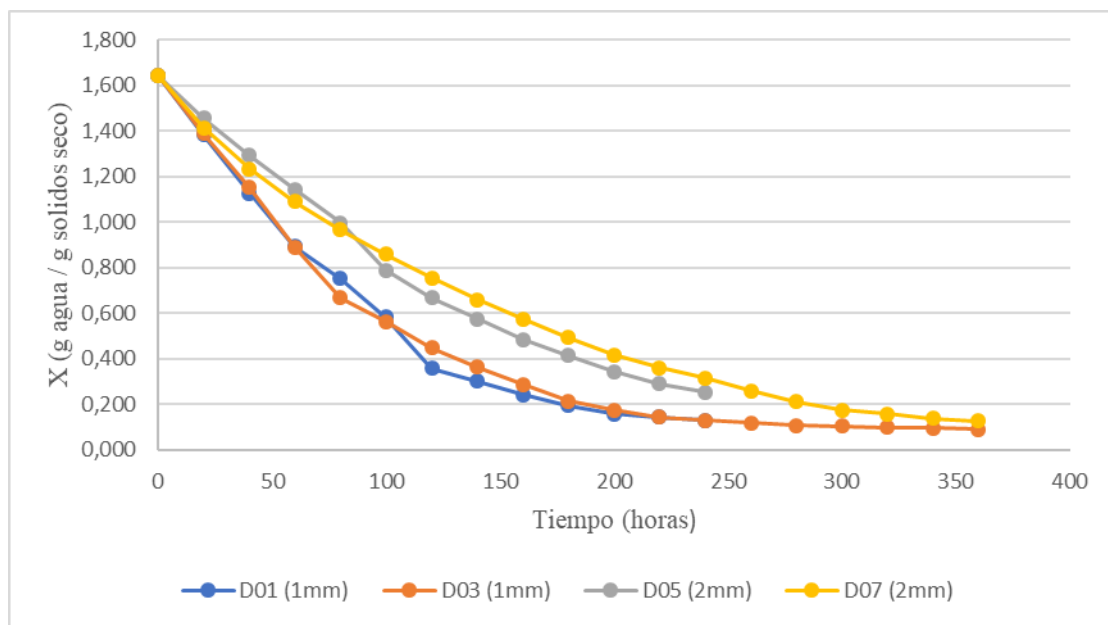
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22 Variación del contenido de humedad en el nivel superior del factor tiempo para las muestras D03, D04, D07 y D08

En la figura 4.22, se observa que la muestra D04 de 1 mm de espesor y 50 °C tiene la mayor velocidad de pérdida de humedad, en contraste con la muestra D07 de 2 mm de espesor y 40°C, que tiene una pérdida de humedad lenta, la muestra D03 y D08, comparten una velocidad de pérdida de humedad y una humedad final similar porque D03 tiene el espesor de 1 mm, lo cual le favorece a perder humedad y la temperatura a 40°C lo cual no le favorece a perder humedad, mientras que D8 tiene el espesor de 2 mm, lo cual no le favorece a la pérdida de humedad y la temperatura a 50°C lo cual le favorece a la pérdida de humedad.

4.5.5 Variación del contenido de humedad en el nivel inferior del factor temperatura para las muestras D01, D03, D05 y D07

En la figura 4.23, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca en relación al tiempo, el peso de las muestras se controló cada 20 minutos, los factores temperatura y tiempo de secado varían entre su nivel bajo (40 °C – 4 h) y alto (50°C – 6 h), mientras que el factor tipo de espesor se mantiene en su nivel bajo (1 mm), los datos obtenidos para realizar la curva se encuentran en la (tabla F.1), (tabla F.3), (tabla F.5) y (tabla F.7) del Anexo F.



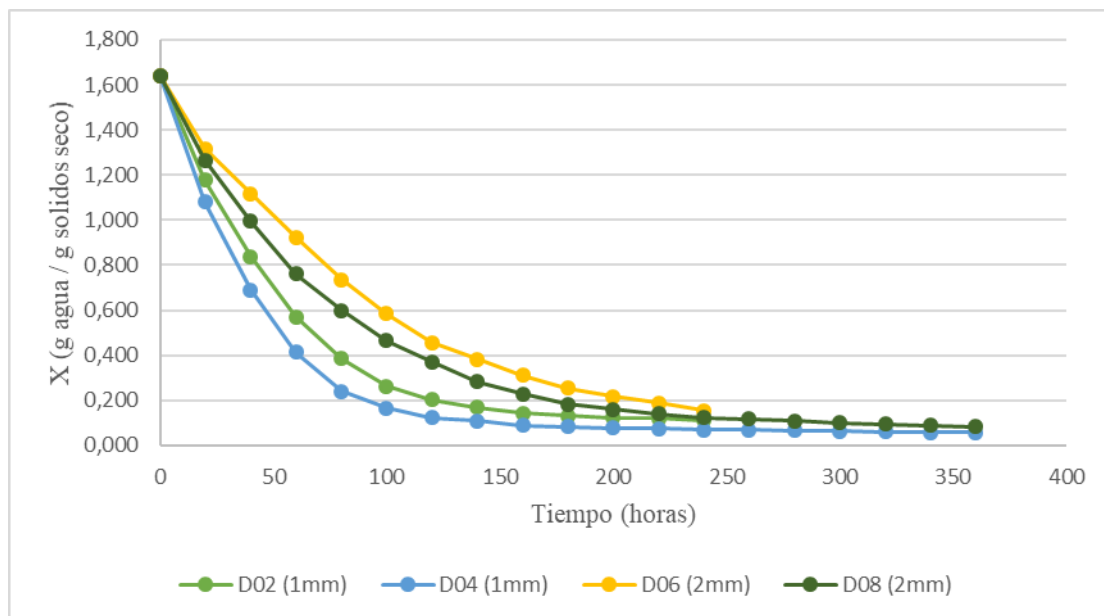
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.23 Variación del contenido de humedad en el nivel inferior del factor temperatura para las muestras D01, D03, D05 y D07

En la figura 2.23, se observa diferencias significativas entre la pérdida de humedad de las muestras con su factor tipo de espesor en su nivel bajo (1 mm) y las muestras con su factor tipo de espesor en su nivel alto (2mm), las muestras D01 y D03 perdieron humedad a mayor velocidad que las muestras D05 y D07, de igual manera la humedad final de las muestras D01 y D03 es significativamente menor que las muestras D05 y D07, esto indica que el factor tipo de espesor tiene un gran efecto sobre la cantidad de agua pérdida en relación al tiempo.

4.5.6 Variación del contenido de humedad en el nivel superior del factor temperatura para las muestras D02, D04, D05 y D06

En la figura 4.24, se muestra la curva de variación del contenido de humedad en base seca en relación al tiempo, el peso de las muestras se controló cada 20 minutos, los factores temperatura y tiempo de secado varían entre su nivel bajo (40 °C – 4 h) y alto (50°C – 6 h), mientras que el factor tipo de espesor se mantiene en su nivel bajo (1 mm), los datos obtenidos para realizar la curva se encuentran en la (tabla F.2), (tabla F.4), (tabla F.5) y (tabla F.6) del Anexo F.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24 Variación del contenido de humedad en el nivel superior del factor temperatura para las muestras D02, D04, D05 y D06

En la figura 2.23, se observa diferencias significativas entre la pérdida de humedad de las muestras con su factor tipo de espesor en su nivel bajo (1 mm) y las muestras con su factor tipo de espesor en su nivel alto (2mm), las muestras D02 y D04 perdieron humedad a mayor velocidad que las muestras D06 y D08, la humedad final de la muestra D02 es similar a la muestra D08, únicamente debido a que la muestra D08 tuvo 2 horas más de secado, la muestra con menor pérdida de humedad, D06, tiene una temperatura de 50 °C y 2 mm de espesor.

4.6 Cinética de secado para la obtención de krupuk

En la tabla 4.11, se muestran los resultados obtenidos para realizar la cinética de secado de las muestras de krupuk, donde los parámetros controlados fueron: temperatura de 40 °C, tiempo de secado de 6 horas, tipo de espesor de 1 mm y donde las condiciones de secado fueron las siguientes:

Tamaño de la bandeja: 25 x 25 cm

Área de la bandeja: 0,063 m²

Cantidad de muestra: 100 g

Contenido de humedad: 62,16 %

Contenido de sólido seco: 37,84 g

velocidad del aire: 3 m/s

Tabla 4.11

Variación de humedad y velocidad de secado para la obtención de krupuk

Tiempo (min)	Peso (g)	X (Kg/Kg)	X media (Kg/Kg)	$\Delta\Theta$ (h)	Δx (Kg/Kg)	$\Delta x/\Delta\Theta$ (Kg/Kgh)	N (Kg/m ² h)
0	100,0	1,643	-	-	-	-	-
20	90,3	1,386	1,5145	0,333	0,257	0,772	0,464
40	80,8	1,135	1,2605	0,333	0,251	0,754	0,453
60	72,3	0,927	1,0310	0,333	0,208	0,625	0,375
80	64,0	0,691	0,8090	0,333	0,236	0,709	0,426
100	59,7	0,578	0,6345	0,333	0,113	0,339	0,204
120	55,6	0,469	0,5235	0,333	0,109	0,327	0,197
140	52,5	0,387	0,4280	0,333	0,082	0,246	0,148
160	49,4	0,305	0,3460	0,333	0,082	0,246	0,148
180	46,7	0,234	0,2695	0,333	0,071	0,213	0,128
200	45,0	0,189	0,2115	0,333	0,045	0,135	0,081
220	43,7	0,155	0,1720	0,333	0,034	0,102	0,061
240	43,2	0,142	0,1485	0,333	0,013	0,039	0,023
260	42,7	0,128	0,1350	0,333	0,014	0,042	0,025
280	42,3	0,118	0,1230	0,333	0,010	0,030	0,018
300	42,1	0,113	0,1155	0,333	0,005	0,015	0,009
320	41,9	0,107	0,1100	0,333	0,006	0,018	0,011
340	41,7	0,102	0,1045	0,333	0,005	0,015	0,009
360	41,5	0,097	0,0995	0,333	0,005	0,015	0,009

Fuente: Elaboración propia

Donde:

X = Humedad en base seca de las krupuk (kg de agua/kg de sólido seco).

ΔX = Gradiente de humedad en base seca (kg de agua/kg de sólido seco).

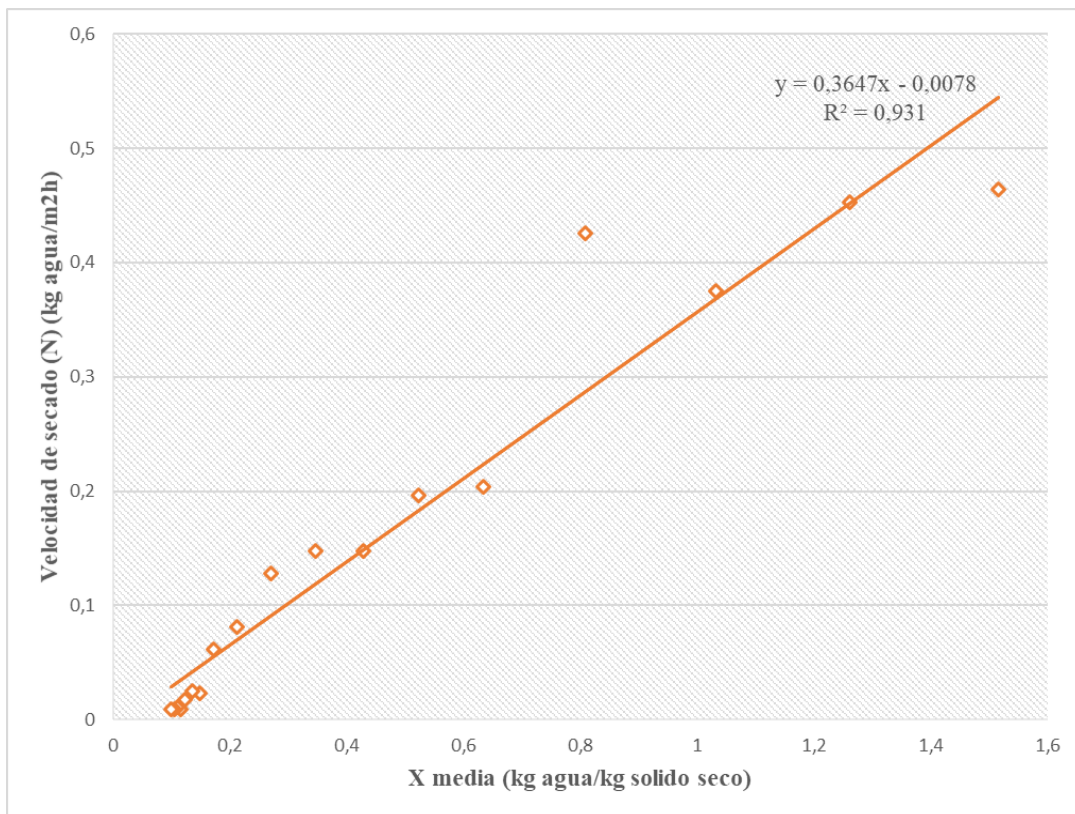
$\Delta \Theta$ = Gradiente de tiempo (h).

$\Delta X/\Delta \Theta$ = Gradiente de humedad en base seca sobre el gradiente de tiempo (kg/kg h).

X media = Humedad promedio (kg de agua/kg de solido seco).

N = Velocidad de secado (kg/m²h).

En la figura 4.25, se muestra la curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad promedio de datos obtenidos de la tabla 4.11. Los resultados experimentales fueron realizados mediante regresión lineal por Excel 2016.

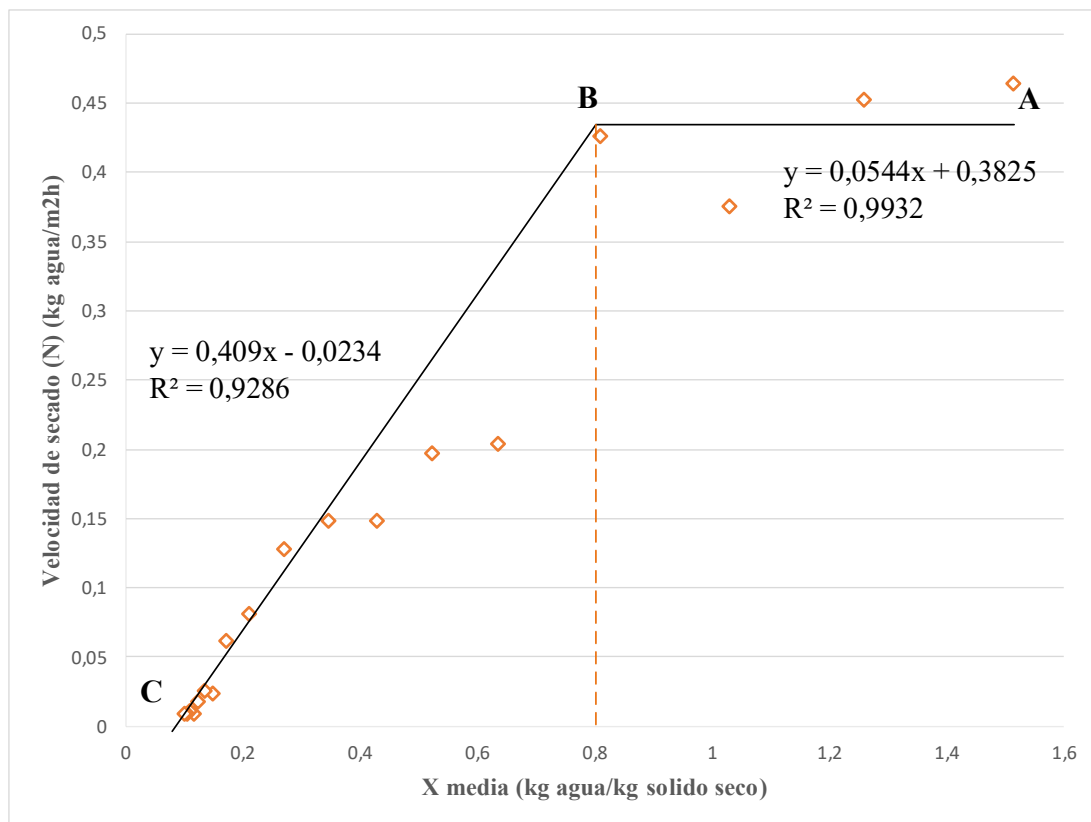


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.25 Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad promedio de las krupuk

En la figura 4.25, se observa que el coeficiente de regresión R^2 proyecta un nivel de correlación de 0,931, los datos de la curva no siguen una dispersión exclusivamente linealmente, esto es de esperar debido a que la velocidad de secado es prácticamente constante durante el periodo ante crítico.

En la figura 4.26 se muestra la curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad promedio dividida en sus distintos periodos de secado, donde se observan el tramo (A - B) periodo ante crítico, el tramo (B - C) periodo post crítico y el valor de humedad crítica.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26 Curva ajustada de velocidad de secado en función del contenido de humedad promedio de las krupuk

En la figura 4.26, se puede observar que el tramo (A - B) periodo ante crítico, tiene una velocidad de secado relativamente constante y finaliza cuando el contenido medio de humedad alcanza el valor de humedad crítica por lo tanto la ecuación matemática de la

regresión lineal ajustada con el coeficiente de regresión R^2 (0,9932) para el tramo (A - B), se describe e la ecuación 4.4.

$$y = 0,0544x - 0,3825 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

En el tramo (B - C) periodo post crítico, la velocidad e secado decrece hasta que el contenido de humedad alcanza el equilibrio por lo tanto la ecuación matemática de la regresión lineal ajustada con el coeficiente de regresión R^2 (0,9286) para el tramo (B - C), se describe e la ecuación 4.5.

$$y = 0,409x - 0,0234 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

4.7 Caracterización del producto final

Para la caracterización de las krupuk se tomó en cuenta las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, los cuales se detallan a continuación.

4.7.1 Análisis fisicoquímico de las krupuk

En la tabla 4.12, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de las krupuk realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.12

Análisis fisicoquímico de las krupuk

Parámetros	Unidad	Resultado
Acidez (ácido láctico)	%	0,44
Cenizas	%	4,41
Fibra	-	n.d.
Grasa	%	0,23
Hidratos de Carbono	%	72,61
Humedad	%	9,68
pH (20°C)	-	7,74
Proteína total (Nx6,25)	%	13,07
Valor energético	Kcal/100 g	564,37

Fuente: CEANID, 2022

En la tabla 4.12, se puede observar los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del krupuk: Acidez (ac. Láctico) 0,44 %; Cenizas 4,41 %; Fibra no hay dato; Grasa 0,23 %; Hidratos de Carbono 72,61 %; Humedad 9,68 %; pH (20°C) 7,74; Proteína total (Nx6,25) 13,07 % y Valor energético 564,37 Kcal/100g.

4.7.2 Análisis microbiológico de las krupuk

En la tabla 4.13, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico de las krupuk realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), datos extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.13

Análisis microbiológico de las krupuk

Parámetros	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Escherichia coli	UFC/g	< 1,0 x 10 ¹ (*)
Mohos y Levaduras	UFC/g	< 8,0 x 10 ¹

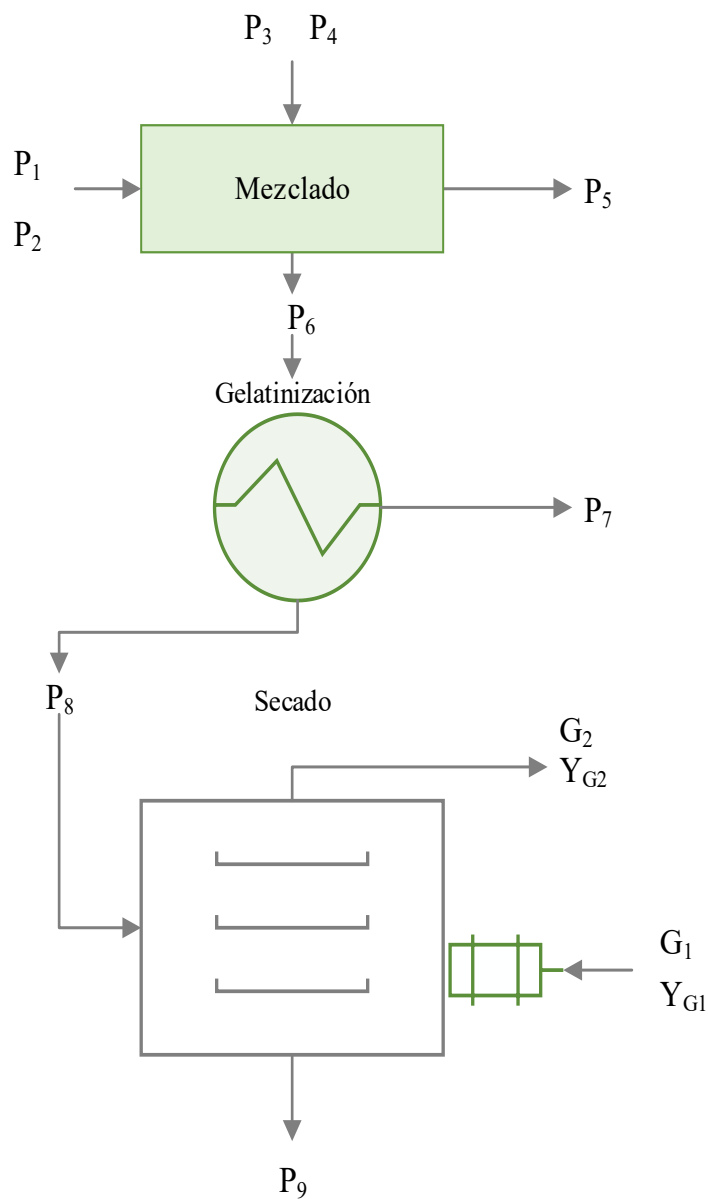
Fuente: CEANID, 2022

(*) No se observa desarrollo de colonias

En la tabla 4.13, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico del krupuk, donde presenta: <1,0x10¹ (*) UFC/g de Coliformes totales; <1,0x10¹ (*) UFC/g de Escherichia coli y <8,0x10¹ UFC/g de Mohos y Levaduras.

4.8 Balance de materia en el proceso de obtención de krupuk

En la figura 4.27, se muestra el diagrama de flujo que se realizó en el balance de materia para la obtención de krupuk.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27 Diagrama de flujo del balance de materia para la obtención de krupuk

Donde:

P_1 = Cantidad de almidón de yuca (g)

P_2 = Cantidad de camarón (g)

P_3 = Cantidad de agua (g)

P_4 = Cantidad de especias (g) (sal, orégano, ají rojo dulce, ajo, cebolla, locoto, caldo de mariscos)

P_5 = Cantidad residuos de la mezcla (g)

P_6 = Cantidad de mezcla (g)

P_7 = Cantidad agua evaporada (g)

P_8 = Cantidad de mezcla gelatinizada (g)

P_9 = Cantidad de krupuk (g)

X_6 = Fracción sólida de la mezcla

X_7 = Fracción sólida del agua

X_8 = Fracción sólida de la lámina gelatinizada

X_9 = Fracción sólida de la krupuk

Y_6 = Fracción líquida de la mezcla

Y_7 = Fracción líquida del agua

Y_8 = Fracción líquida de la lámina gelatinizada

Y_9 = Fracción líquida de la krupuk

$HBS_8 = X_8^{SS} =$ Humedad inicial en base seca

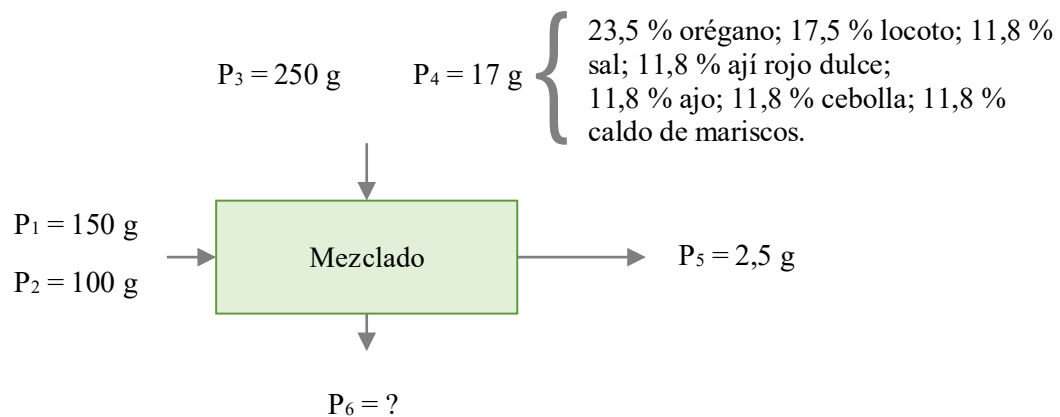
$HBS_9 = X_9^{SS} =$ Humedad final en base seca

$G =$ Cantidad de aire seco (kg)

$AE =$ Cantidad de agua evaporada (g)

4.8.1 Balance de materia en el proceso de mezclado

En la figura 4.28, se muestra el balance de materia del proceso de mezclado para la obtención de krupuk.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28 Proceso de mezclado

- Balance general de materia en el proceso de mezclado

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = P_5 + P_6$$

Ecuación 4.6

- Despejando P_6 de la ecuación 4.6 se obtiene:

$$P_6 = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - P_5$$

- Reemplazando valores

$$P_6 = 150 \text{ g} + 100 \text{ g} + 250 \text{ g} + 17 \text{ g} - 2,5 \text{ g}$$

$$P_6 = 514,5 \text{ g de cantidad de mezcla}$$

- Cantidad porcentual de pérdida en el proceso de mezclado

$$P_5 = \frac{P_5 * 100\%}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}$$

Ecuación 4.7

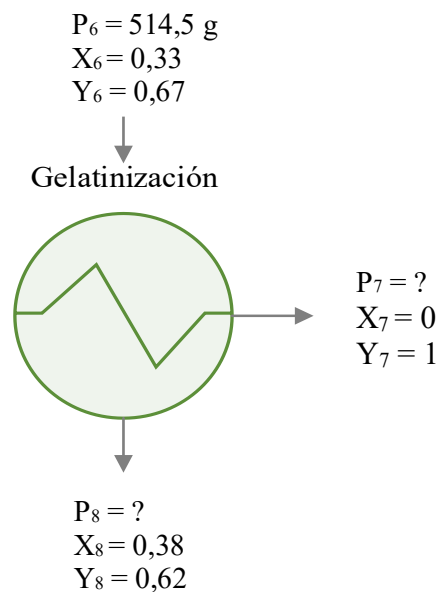
- Reemplazando valores

$$\% P_5 = \frac{2,5 \text{ g} * 100 \%}{150 \text{ g} + 100 \text{ g} + 250 \text{ g} + 17 \text{ g}}$$

$\% P_5 = 0,48 \%$ de pérdida en el proceso de mezclado

4.8.2 Balance de materia en el proceso de gelatinización

En la figura 4.29, se muestra el balance de materia del proceso de gelatinización para la obtención de krupuk; los datos de contenido de humedad en base seca, contenido de humedad en base húmeda y contenido de sólido seco fueron determinados en el laboratorio de (CEANID) de datos extraídos del (Anexo A).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29 Proceso de gelatinización

- Balance general de materia en el proceso de gelatinización

$$P_6 = P_7 + P_8 \quad \text{Ecuación 4.8}$$

- Balance de materia parcial para el componente sólido seco

$$P_6 * X_6 = P_7 * X_7 + P_8 * X_8 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

- Despejando P_8 de la ecuación 4.8, se obtiene:

$$P_8 = \frac{P_6 * X_6}{X_8}$$

- Reemplazando los valores

$$P_8 = \frac{514,5 \text{ g} * 0,33}{0,38}$$

$$P_8 = 446,8 \text{ g de lámina gelatinizada}$$

- De la ecuación 4.8, despejando P_7 se obtiene:

$$P_7 = P_6 - P_8$$

$$P_7 = 514,5 \text{ g} - 446,8 \text{ g}$$

$P_7 = 67,69 \text{ g}$ de agua evaporada durante en el proceso de gelatinización

- Cantidad porcentual de pérdida en el proceso de gelatinización

$$\% P_7 = \frac{P_7 * 100\%}{P_6} \quad \text{Ecuación 4.10}$$

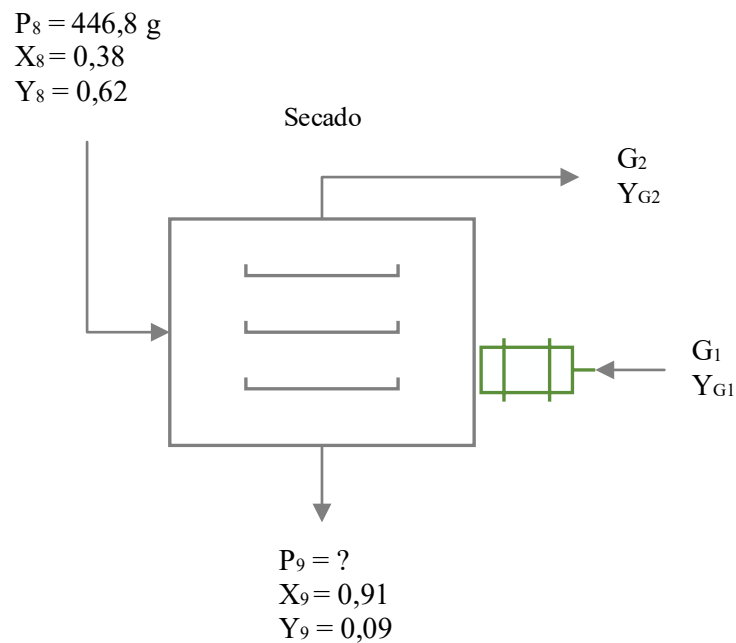
- Reemplazando valores

$$\% P_7 = \frac{67,69 \text{ g} * 100 \%}{514,5 \text{ g}}$$

$\% P_7 = 13,16 \%$ de peso perdido como agua evaporada en el proceso de gelatinización

4.8.3 Balance de materia en el proceso de secado

En la figura 4.30, se muestra el balance de materia del proceso de secado para la obtención de krupuk, los datos de contenido de humedad en base seca, contenido de humedad en base húmeda y contenido de sólido seco fueron determinados en el laboratorio de (CEANID) de datos extraídos del (Anexo A).



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.30 Proceso de secado

- Balance general de materia en el proceso de secado

$$P_8 + G_1 = P_9 + G_2 \quad \text{Ecuación 4.11}$$

- Balance de materia parcial para el componente sólido seco

$$P_8 * X_8 = P_9 * X_9 \quad \text{Ecuación 4.12}$$

- Despejando P_9 de la ecuación 4.12, se obtiene:

$$P_9 = \frac{P_8 * X_8}{X_9}$$

- Reemplazando valores

$$P_9 = \frac{446,8 \text{ g} * 0,38}{0,91}$$

$$P_9 = 186,58 \text{ g de krupuk}$$

- Balance de materia parcial en el proceso de secado donde se tomó en cuenta la ecuación 4.13 citada por (Heldman, 2008).

$$P_8 * X_8^{SS} + G_1 * Y_{G1} = P_9 * X_9^{SS} + G_2 * Y_{G2}$$

Ecuación 4.13

Donde:

$G = G_1 = G_2 =$ Caudal másico del aire (kg de aire/ hora)

$P = P_8 = P_9 =$ Caudal másico de producto (kg de solido seco/ hora)

$X =$ Humedad del producto (kg de agua/ kg de solido seco)

$Y =$ Humedad del aire (kg de agua/ kg de aire)

- Reemplazando las variables en la ecuación 4.13, se obtiene:

$$P * X_8^{SS} + G_1 * Y_{G1} = P * X_9^{SS} + G_2 * Y_{G2}$$

Ecuación 4.14

- Dividiendo la ecuación 4.14 entre P , se obtiene:

$$X_8^{SS} + G_1 * Y_{G1} / P = X_9^{SS} + G_2 * Y_{G2} / P$$

Ecuación 4.14

- Factorizando G/P de la ecuación 4.14, se obtiene:

$$G = \frac{(X_8^{SS} - X_9^{SS}) * P}{(Y_{G2} - Y_{G1})}$$

Ecuación 4.15

- El contenido de humedad en base seca de las krupuk al ingresar y al salir del secador, se calculó según la ecuación 4.16. (Singh & Heldman, 2009)

$$\text{HBS} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de solido seco}} = \text{kg de agua/ kg de sólido seco} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

- De acuerdo a la ecuación 4.16, se calcula el contenido humedad inicial en base seca en la etapa de secado.

$$\text{HBS}_8 = \frac{0,62}{0,38}$$

$$\text{HBS}_8 = 1,63 \text{ g de agua/ g de sólido seco}$$

- De acuerdo a la ecuación 4.16, se calcula el contenido de humedad final en base seca de la etapa de secado.

$$\text{HBS}_9 = \frac{0,09}{0,91}$$

$$\text{HBS}_9 = 0,09 \text{ g de agua/ g de solido seco}$$

- En la tabla 4.14, se indica las propiedades psicométricas en base a los datos obtenidos de temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo medidos a la entrada y salida del secador e introducidos al software Psicrom 1.0 (Anexo G), a 1866 msnm según (INE, 2003).

Tabla 4.14

Propiedades psicométricas del aire

Propiedades	Aire frio	Aire saturado	Unidad
TBS	19,0	37,0	°C
TBH	11,0	21,0	°C
HR	41,1	32,6	%
Y	7,1	16,5	g agua/kg aire
PVP	0,9	2,1	kpa

Fuente: Elaboración propia

Donde:

PVP = Presión parcial de vapor de agua

Y = Humedad absoluta (g de agua/ g de sólido seco)

TBS = Temperatura de bulbo seco (°C)

TBH = Temperatura de bulbo húmedo (°C)

- Para la cantidad de lámina gelatinizada 446,8 g la relación de materia seca (P) de las krupuk es 186,58 g de sólido seco
- Reemplazando los valores de la ecuación 4.15 para calcular la cantidad de masa de aire seco, se obtiene:

$$G = \frac{(1,63 - 0,099) \frac{g \text{ de agua}}{g \text{ de sólido seco}} * 186,58 \text{ g sólido seco}}{(16,5 - 7,13) g \text{ de agua} / g \text{ de aire seco}}$$

$$G = 30,48 \text{ kg de aire seco}$$

- Para calcular la masa de agua evaporada se tomó en cuenta la ecuación 4.17 citada por (Valiente, 1994).

$$AE = (X_8^{SS} - X_9^{SS}) * P_9 \quad \textbf{Ecuación 4.17}$$

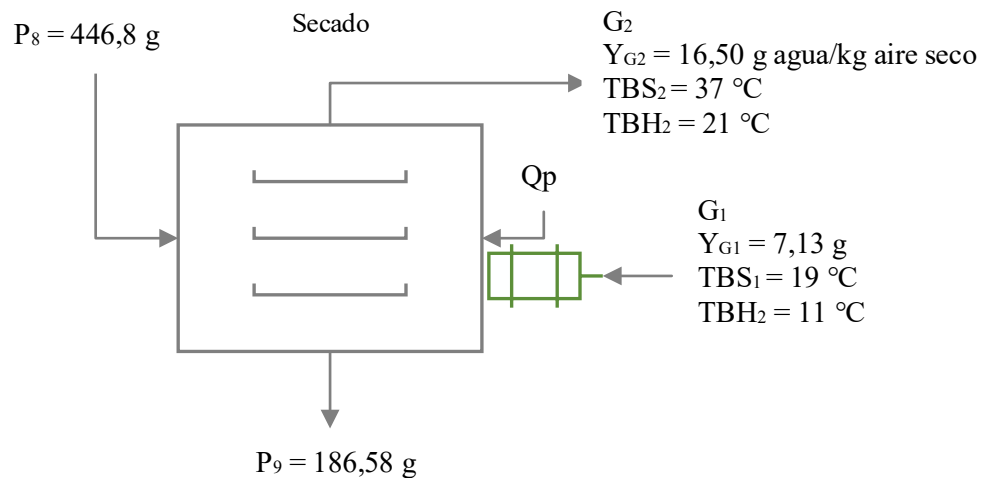
- Reemplazando valores

$$AE = (1,63 - 0,099) * 186,58$$

$$AE = 285,65 \text{ g de agua evaporada}$$

4.9 Balance de energía para la elaboración de krupuk

En la figura 4.31, se muestra el balance de energía en el proceso de secado para la obtención de krupuk.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.31 Balance de energía en el proceso de secado

- Balance combinado de materia y energía en el proceso de secado para la obtención de krupuk, de acuerdo a (Singh & Heldman, 2008) ajustado a la ecuación 4.20.

$$P_8 * H_8 + G_1 * H_{G1} + Q_p = P_9 * H_9 + G_2 * H_{G2} \quad \text{Ecuación 4.20}$$

Donde:

$G = G_1 = G_2 =$ Caudal másico del aire (kg de aire seco/h)

$P = P_8 = P_9 =$ Caudal másico del producto (kg de sólido seco/h)

$H_8 = H_9 =$ Entalpia del producto (kJ/kg de sólido seco)

$Q_p =$ Calor aportado al sistema (kJ)

- Reemplazando las variables en la ecuación 4.20, se obtiene:

$$P_8 * H_8 + G_1 * H_{G1} + Q_p = P_9 * H_9 + G_2 * H_{G2} \quad \text{Ecuación 4.21}$$

- Despejando Q_p de la ecuación 4.21, se obtiene:

$$Q_p = P * H_9 + G * H_{G2} - P * H_8 - G * H_{G1} \quad \text{Ecuación 4.22}$$

- Ordenando las variables de la ecuación 4.22, se obtiene:

$$Q_p = G * (H_{G2} - H_{G1}) + P * (H_9 - H_8) \quad \text{Ecuación 4.23}$$

- Para calcular la entalpia del aire se utiliza la ecuación 4.24, descrita por (Singh & Heldman, 2008).

$$H_a = C_s (T_a - T_0) + Y * H_L \quad \text{Ecuación 4.24}$$

Donde:

C_s = Calor húmedo (kJ/kg de solido seco °C)

T_a = Temperatura del aire (°C)

T_0 = Temperatura de referencia = (°C)

Y = Humedad absoluta (g de agua/kg de aire seco)

H_L = Calor latente de vaporización del agua (kJ/kg de agua)

- El calor húmedo del aire se calculó mediante la ecuación 4.25 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_s = 1,005 + 1,88 Y \quad \text{Ecuación 4.25}$$

- Reemplazando la ecuación 4.25 en la ecuación 4.24, se obtiene:

$$H_a = (1,005 + 1,88 Y) (T_a - T_0) + Y * H_L \quad \text{Ecuación 4.26}$$

- El valor de calor latente de vaporización a la salida del secador se extrajo del (Anexo G).

Donde:

$$H_L = 1206,9 \text{ kJ/kg a } 19 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Y = 0,00713 \text{ kg agua/kg de aire seco}$$

$$T_a = 19 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 0$$

- Reemplazando los valores en la ecuación 4.26 para la entalpia del secador se obtiene:

$$H_{G1} = (1,005 \text{ kJ/kg aire seco } ^\circ\text{C} + 1,88 \text{ kJ/kg agua } ^\circ\text{C} * 0,00713 \text{ kg agua/kg aire seco}) * (19 - 0) \text{ }^\circ\text{C} + (0,00713 \text{ kg agua/kg aire seco} * 1206,9 \text{ kJ/kg})$$

$$H_{G1} = 27,61 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

- El valor de calor latente de vaporización a la salida del secador se extrajo del (Anexo G).

Donde:

$$H_L = 1156,5 \text{ kJ/kg a } 40,10^\circ\text{C}$$

$$Y = 0,0158 \text{ kg de agua/kg de aire seco}$$

$$T_a = 40,10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 0$$

- Reemplazando los valores en la ecuación 4.26 para la entalpia a la salida del secador, se obtiene:

$$H_{G2} = (1,005 \text{ kJ/kg aire seco } ^\circ\text{C} + 1,88 \text{ kJ/kg agua } ^\circ\text{C} * 0,0156 \text{ kg agua/kg aire seco}) * (40,10 - 0) ^\circ\text{C} + (0,0158 \text{ kg agua/kg aire seco} * 1156,5 \text{ kJ/kg})$$

$$H_{G2} = 59,149 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

- Para el cálculo de la entalpia del producto se tomó en cuenta la ecuación descrita por (Singh & Heldman, 2008).

$$H_P = C_P (T_P - T_0) + X_P * C_{PA} (T_P - T_0) \quad \text{Ecuación 4.27}$$

Donde:

C_P = Calor específico del producto (kJ/kg $^\circ\text{C}$)

T_P = Temperatura del producto ($^\circ\text{C}$)

X_P = Humedad del producto (kg de agua/kg de sólido seco)

C_{PA} = Calor específico del agua (kJ/kg $^\circ\text{C}$)

- Para calcular el calor específico (kcal/k $^\circ\text{C}$) de la krupuk se utilizó la ecuación 4.28, descrita por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_p = L_P * C_{pP} + L_C * C_{pC} + L_H * C + L_G * C_{pG} * L_A * C_{pA} \quad \text{Ecuación 4.28}$$

Donde el valor de los calores específicos de cada componente alimentario, según (Lewis, 1993) se detallan a continuación:

$C_{pP} = 1,549$ (kJ/kg $^\circ\text{C}$) calor específico de las proteínas

$C_{pC} = 1,549$ (kJ/kg $^\circ\text{C}$) calor específico de las cenizas

$C_{pH} = 1,549$ (kJ/kg $^\circ\text{C}$) calor específico de los carbohidratos

$C_{pG} = 1,549$ (kJ/kg °C) calor específico de las grasas

$C_{pA} = 1,549$ (kJ/kg °C) calor específico del agua

L_P, L_C, L_H, L_G, L_A = Fracción masa de los componentes de los alimentos

- Para calcular el valor de las fracciones de masa de cada componente, se tomó en cuenta los resultados de la tabla 4.15, extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.15

Análisis fisicoquímico de la lámina gelatinizada

Parámetros	Unidad	Resultado
Cenizas	%	2,08
Grasa	%	0,52
Hidratos de Carbono	%	27,40
Humedad	%	62,16
Proteína total (Nx6,25)	%	7,84

Fuente: CEANID, 2022

Donde:

$L_P = 0,0784$ (Fracción masa del componente agua)

$L_C = 0,0208$ (Fracción masa del componente de ceniza)

$L_H = 0,274$ (Fracción masa del componente carbohidratos)

$L_G = 0,0052$ (Fracción masa del componente de grasa)

$L_A = 0,6216$ (Fracción masa del componente agua)

- Reemplazando los valores en la ecuación 4.28, se obtiene:

$$C_{p8} = 0,0784 * 1,549 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,0208 * 1,424 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)} + 0,274 * 1,399 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)} \\ + 0,0052 * 1,699 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)} + 0,6216 * 4,179 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)}$$

$$C_{p8} = 5,344 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

- Reemplazando los datos en la ecuación 4.27, se obtiene la entalpia de las muestras de krupuk a la entrada del secador, el valor Cp del agua se extrajo del (Anexo G) a 19 °C.

$$H_8 = 5,344 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * (19 - 0) ^\circ\text{C} + 1,63 \text{ kg agua/kg solido seco} * 4,179 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * (19 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$H_8 = 129,423 \text{ kJ/kg de solido seco}$$

- Para calcular el valor de las fracciones de masa de cada componente de las krupuk, se tomó en cuenta los resultados de la tabla 4.12.

Donde:

$$L_P = 0,1307 \text{ (Fracción masa del componente agua)}$$

$$L_C = 0,0441 \text{ (Fracción masa del componente de ceniza)}$$

$$L_H = 0,7261 \text{ (Fracción masa del componente carbohidratos)}$$

$$L_G = 0,0023 \text{ (Fracción masa del componente de grasa)}$$

$$L_A = 0,0968 \text{ (Fracción masa del componente agua)}$$

- Reemplazando valores en la ecuación 4.28, se obtiene el Cp de las krupuk a la salida del secador.

$$Cp_9 = 0,1307 * 1,549 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,0441 * 1,424 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)} + 0,7261 * 1,399 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)} + 0,0023 * 1,699 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)} + 0,0968 * 4,179 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)}$$

$$Cp_9 = 3,095 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

- Reemplazando los datos 4.27, se obtiene la entalpia de las muestras de krupuk a la salida del secador, el valor Cp del agua se extrajo del (Anexo G) a 37 °C.

$$H_9 = 3,095 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * (37 - 0) ^\circ\text{C} + 0,09 \text{ kg agua/kg s\u00f3lido} * 4,179 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * (37 - 0) ^\circ\text{C}$$

$$H_9 = 128,43 \text{ kJ/kg s\u00f3lido seco}$$

Ordenando los datos calculados, se tiene:

$$H_{G1} = 27,61 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

$$H_{G2} = 59,149 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

$$H_8 = 129,423 \text{ kJ/kg de s\u00f3lido seco}$$

$$H_9 = 128,43 \text{ kJ/kg s\u00f3lido seco}$$

$$G = 30,48 \text{ kg de aire seco}$$

$$P = 186,56 \text{ s\u00f3lido seco} = 0,18656 \text{ kg de s\u00f3lido seco}$$

- Reemplazando los datos en la ecuaci\u00f3n 4.23, se obtiene:

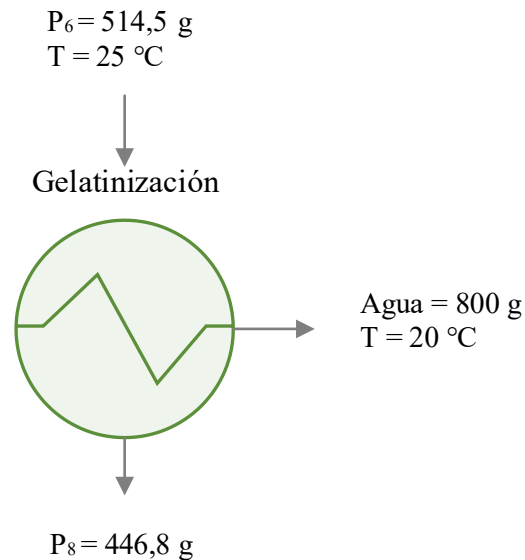
$$Q_p = 30,48 \text{ kg aire seco} * (59,149 - 27,61) \text{ kJ/kg aire seco} + 0,18656 \text{ kg s\u00f3lido seco} * (128,43 - 129,423) \text{ kJ/kg de s\u00f3lido seco}$$

$$Q_p = 961,12 \text{ kJ}$$

$$Q_p = 229,53 \text{ kcal}$$

El calor requerido para secar 446,8 g de krupuk en estado gelatinizado es 229,53 kcal.

En la figura 4.32, se muestra el balance de energía en el proceso de gelatinización para la obtención de krupuk, utilizando una cantidad de 800 gramos de agua para llegar al calor requerido en la mezcla.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32 Balance de energía en el proceso de gelatinización

- Para el cálculo del calor transferido durante el proceso de gelatinización se tomó en cuenta la ecuación de principios termodinámicos fundamentales de calor sensible:

$$E = m * C_p * \Delta T$$

Ecuación 4.29

Donde:

E = Calor transferido en el proceso de gelatinización (kj)

E_A = Calor necesario para el agua (kj)

E_M = Calor necesario para la mezcla (kj)

m_M = Masa de la mezcla (kg)

m_A = Masa del agua (kg)

C_{pM} = Calor específico de la mezcla (kJ/kg °C)

C_{pA} = Calor específico del agua (kJ/kg °C)

ΔT = variación de temperatura (°C)

- Para calcular el valor de las fracciones de masa de cada componente, se tomó en cuenta los resultados de la tabla 4.16, extraídos del (Anexo A).

Tabla 4.16

Análisis fisicoquímico de la mezcla

Parámetros	Unidad	Resultado
Cenizas	%	0,68
Grasa	%	0,12
Hidratos de Carbono	%	26,90
Humedad	%	67,82
Proteína total (Nx6,25)	%	4,48

Fuente: CEANID, 2022

Donde:

$L_P = 0,0448$ (Fracción masa del componente agua)

$L_C = 0,0006$ (Fracción masa del componente de ceniza)

$L_H = 0,269$ (Fracción masa del componente carbohidratos)

$L_G = 0,0012$ (Fracción masa del componente de grasa)

$L_A = 0,6782$ (Fracción masa del componente agua)

- Reemplazando los valores de la mezcla en la ecuación 4.28, se obtiene:

$$C_{p6} = 0,0448 * 1,549 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} + 0,0006 * 1,424 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)} + 0,269 * 1,399 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)} \\ + 0,0012 * 1,699 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)} + 0,6782 * 4,179 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)}$$

$$C_{p6} = 3,285 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

- Reemplazando los valores de la mezcla en la ecuación 4.29, se obtiene:

$$E_M = 0,514 \text{ kg} * 3,285 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * (70 - 25) ^\circ\text{C}$$

$E_M = 76,055 \text{ kJ}$ de calor transferido para gelatinizar a la mezcla.

- Reemplazando los valores del agua en la ecuación 4.29, se obtiene:

$$E_A = 0,8 \text{ kg} * 4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} * (80 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$E_A = 200,64 \text{ kJ}$$

- Sumando las dos etapas de transferencia de calor se obtiene:

$$E = 76,055 \text{ kJ} + 200,64 \text{ kJ} = 276,7 \text{ kJ}$$

El calor requerido para gelatinizar 514,5 gramos de mezcla es 66,13 kcal.

El calor total requerido para la elaboración de krupuk es 295,66 kcal.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En base a los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados a la materia prima, el Almidón de yuca contiene: 0,21 % Ceniza; no hay dato de Fibra; 96,4 mg/100g Fósforo; 0,29 % Grasa; 89,02 % Carbohidratos; 9,84 % Humedad; 0,64 % Proteína total (Nx6,25); 361,25 kcal/100g Valor energético; $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g Coliformes fecales; $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g Coliformes totales; $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g Escherichia coli; $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g Mohos y Levaduras. Donde: (*) = No se observa desarrollo de colonias.
- De acuerdo a los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados a la materia prima y descritos en el Anexo A, el Camarón contiene: 0,83 % Ceniza; no hay dato de Fibra; 110 mg/100g Fósforo; 0,09 % Grasa; 2,07 % Carbohidratos; 76,5 % Humedad; 20,51 % Proteína total (Nx6,25); 91,13 kcal/100g Valor energético; $9,8 \times 10^5$ UFC/g Bacterias aerobias mesófilas; $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g Coliformes fecales; $< 1,0 \times 10^2$ UFC/g Coliformes totales; $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g Escherichia coli; $< 1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g Mohos y Levaduras. Donde: (*) = No se observa desarrollo de colonias.
- De acuerdo a los ensayos, se optó por utilizar el proceso de laminado y no el amasado, el proceso de gelatinización por contacto directo y no por contacto indirecto y se determinó la necesidad de tener alrededor de 50 % de agua en la dosificación de la mezcla.
- Realizada la evaluación sensorial de las pruebas preliminares de acuerdo al estadístico caja y bigotes la muestra ideal elegida fue PK1.
- Aplicado el diseño experimental 2^3 en el proceso de secado, se pudo establecer las variables temperatura (A), tiempo (B), tipo de espesor (C) e interacción BC (tiempo-tipo de espesor) influyen significativamente en la variable respuesta contenido de humedad en base seca para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- En base al contenido de humedad en base seca de las muestras se procedió a elegir la muestra D03, que tuvo un contenido de humedad en base seca de 0,68

g de agua/ g de solido seco en un tiempo de 360 minutos con una temperatura de 40 °C y un tipo de espesor de 1 milímetro.

- Realizada la evaluación sensorial para las muestras del diseño experimental se procedió a elegir la muestra D03 que presento mayor aceptación por parte de los jueces y realizando la prueba Tukey se definió que existe diferencia significativa en el atributo textura para un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.
- En base a los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, la muestra final (krupuk) contiene: 0,44 % Ceniza; 0,23 % Grasa; 72,61 % Carbohidratos; 9,68 % Humedad; 13,07 % Proteína total; 564,37 kcal/100g Valor energético; $< 1,0 \times 10^1$ (*) Coliformes totales; $< 1,0 \times 10^1$ (*) Escherichia coli; $< 1,0 \times 10^1$ (*) Mohos y Levaduras. Donde: (*) = No se observa desarrollo de colonias.
- El balance de materia y energía indica que para 446,8 g de lámina gelatinizada con 62,16 % de humedad inicial y condiciones de secado (temperatura 40°C y tiempo 6 horas) se obtiene 186,58 g de krupuk con contenido de humedad final de 9,68 %, la cantidad de calor requerido para el proceso de elaboración de krupuk es 295,66 kcal.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda la implementación de una planta piloto para la elaboración de krupuk, galletas secas de almidón de yuca listas para freír, para aprovechar los beneficios nutricionales de la yuca y aumentar su vida útil, evitando su desperdicio.
- Es aconsejable hacer uso extenso de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), a lo largo del proceso de elaboración de las muestras.
- Se sugiere hacer uso del nuevo equipo de secado por aire caliente de la Carrera Ingeniería de Alimentos, ubicado en el Laboratorio Académico de la Carrera de Alimentos (LACIA) para poder expandir las funciones y resultados que se pueda obtener del mismo.

- Se recomienda el uso del programa Statgraphics Centurion para la realización de la parte estadística de los trabajos de investigación de la carrera de Ingeniería de Alimentos.
- Se recomienda realizar un diseño experimental con un mayor número de réplicas para obtener resultados con mayor precisión y un mayor poder estadístico.