

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**TRABAJO DIRIGIDO**

**PROCESO DE REHIDRATACIÓN DE HIGOS PARA RELLENO,  
CASO: FÁBRICA DE CHOCOLATES Y DULCES “CÓNDOR SRL”**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO**

**POSTULANTE:** Univ. MEDINA TORREZ MADELINE CLAUDIA

**TUTOR:** MSc. Ing. ESPINOZA ALARCON ERLAN WILLIAM

**COTUTOR:** Ing. PANDO FIORILO GUSTAVO REYNALDO

**LA PAZ- BOLIVIA**

**OCTUBRE, 2023**



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Pedro Medina y Elena Torrez por su constante apoyo y amor a lo largo de la carrera. A mis hermanas Mariela y Helen, quienes fueron apoyo fundamental e inspiración para conseguir este objetivo.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Química, por ayudarme compartiendo sus conocimientos y experiencia.

A mis amigos, por haberme acompañado en toda esta travesía.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por su protección y bendición en todo este recorrido.

A mis padres Pedro y Elena, hermanas Mariela y Helen, por todo su apoyo, paciencia e impulso para conseguir esta y nuevas metas.

A mi tutor Ing. William Espinoza, por su apoyo y siempre disponibilidad de ayudar y orientarme en todo momento, compartiendo sus conocimientos y acompañando todo el desarrollo de la investigación.

Al Ing. Gustavo Pando, por compartirme sus conocimientos y experiencias para afrontar nuevos retos en el ámbito profesional además de sus enseñanzas en el aspecto académico y personal,

A mis tribunales Ing. Eduardo Garay, Ing. Alejandro Romero PhD, por su colaboración y comprensión, además del tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

A el Lic. Jaime Gonzales un agradecimiento especial, por abrirme las puertas de Fábrica de chocolates y dulces Cóndor SRL, inicialmente para desarrollar mi pasantía, que daría paso a brindarme la oportunidad de desarrollar esta investigación en tan prestigiosa entidad, además darme la posibilidad de tener lecciones en el ámbito laboral. Agradecer también a todo el personal de “Cóndor SRL”, que me colaboró en el desarrollo del proyecto.

A aquellos amigos que me acompañaron en diversos aspectos, Nicole y Xhusara por su apoyo constante y su amistad incondicional, a Mayte y Carlos por ser parte de este recorrido desde el día uno, con altos y bajos, a Hilda y Mari por motivarme y brindarme su apoyo sincero.

## RESUMEN

Este estudio investigativo se centró en abordar el desafío planteado por la empresa Fábrica de chocolates y dulces "Cóndor SRL", que buscaba introducir un nuevo producto que involucrara el uso del higo. La empresa había enfrentado dificultades de control de humedad durante la rehidratación del higo en pruebas preliminares.

El objetivo principal de la investigación fue identificar las variables óptimas para la rehidratación del higo. Esto incluyó determinar la actividad de agua del higo rehidratado bajo condiciones óptimas y su uso en el desarrollo del producto final, además de estimar su vida útil.

La investigación involucró actividades de laboratorio y experimentos en la producción del producto final. Se determinó que un contenido de humedad inicial del higo de aproximadamente 34% era el más adecuado para el proceso de relleno.

Se utilizó diseño experimental para analizar variables y se identificaron condiciones óptimas para la rehidratación: una temperatura de 87°C durante 15 minutos, con una relación de masa volumen de 1:4. La actividad de agua en el higo se determinó en 0.62, un valor cercano al límite considerado seguro contra el desarrollo de microorganismos.

La vida útil del producto se evaluó en términos organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos, concluyendo que era de aproximadamente 50 días. Esto se basó en indicadores como un índice de peróxidos de 4.44 meq/kg a los 50 días y la presencia de colonias de moho en el aspecto microbiológico.

Mediante análisis y evaluaciones tanto cuantitativas como cualitativas, se proporcionó una solución sólida al problema inicial planteado por la empresa.

## ABSTRACT

This research study was developed with the objective of meeting the challenge presented by the company Fábrica de Chocolates y Dulces "Condor SRL". The company seeks to implement a new proposal involving the use of figs. The new product consists of a rehydrated fig filled with dulce de leche and covered with chocolate. The company had faced difficulties in moisture control during fig rehydration in preliminary trials.

The study focuses on identifying the optimal variables for fig rehydration, with specific objectives related to determining the water activity in the rehydrated fig, rehydrated under optimal conditions and used in the development of the final product to estimate its shelf life.

The research included laboratory activities and experiments in the production of the final product. It was determined that figs with a moisture content of approximately 34% were the most suitable for the filling process.

An experimental design was used to analyze variables and optimal conditions for rehydration were identified, being for the process a temperature of 87°C, for a time of 15 minutes, with a ratio between the mass of the dehydrated fig and the volume of water used for rehydration of 1:4.

The water activity in the fig was determined to be 0.62, using the static method, which is close to the limit to be considered an adequate environment for the development of microorganisms.

The shelf life of the product was evaluated in organoleptic, physicochemical and microbiological terms, concluding that the approximate shelf life was 50 days, due to indicators such as a peroxide index of 4.44 meq/kg at 50 days; as for the microbiological aspect, the development of mold colonies was identified.

Through quantitative and qualitative analyses and evaluations, a solid solution to the initial problem was provided.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.3. OBJETIVOS .....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	4
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	4
1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	4
1.4.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL .....	4
1.4.4. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA.....	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. EL HIGO .....	6
2.1.1. CARACTERÍSTICAS.....	6
2.1.1.1. CULTIVO.....	6
2.1.1.2. VALORES NUTRICIONALES.....	7
2.1.2. USOS .....	8
2.1.3. PLAGAS, ENFERMEDADES Y FISIOPATÍAS .....	9
2.1.3.1. PODREDUMBRE EN LOS FRUTOS.....	10
2.2. CONSERVACIÓN DE HIGOS .....	11
2.3. ACTIVIDAD DEL AGUA.....	11

2.4. DESHIDRATACIÓN DE LOS ALIMENTOS.....	14
2.5. REHIDRATACIÓN DE LOS ALIMENTOS.....	15
2.6. TRANSFERENCIA DE MATERIA.....	15
2.6.1. LEY DE FICK.....	16
2.6.1.1. LEY DE FICK EN ESTADO ESTACIONARIO.....	16
2.6.1.2. LEY DE FICK EN ESTADO NO ESTACIONARIO.....	17
2.7. MODELOS EMPÍRICOS.....	17
2.7.1. MODELO DE WEIBULL.....	19
2.7.2. MODELO DE PELEG.....	20
2.8. VIDA ÚTIL.....	21
2.8.1. MECANISMO MICROBIOLÓGICO.....	21
2.8.2. MECANISMO FISICOQUÍMICO.....	22
2.9. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	24
2.9.1. DISEÑO FACTORIAL.....	25
2.9.1.1. DISEÑO FACTORIAL $2^k$ .....	26
2.9.1.1.2. DISEÑO FACTORIAL $2^2$ .....	26
2.9.1.1.3. DISEÑO FACTORIAL $2^3$ .....	27
CAPÍTULO III.....	29
METODOLOGÍA.....	29
3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.2. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	29
3.2.1. PRUEBAS DE LABORATORIO.....	29
3.2.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	30
3.3. MATERIA PRIMA.....	30
3.4. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS.....	31

3.4.1. EQUIPOS .....	31
3.4.2. MATERIALES.....	33
3.4.3. REACTIVOS.....	34
3.5.1. FACTORES EN LA MATERIA PRIMA .....	35
3.5.2. VARIABLES EN EL PROCESO.....	36
3.6. CARACTERIZACIÓN DE HIGO DESHIDRATADO .....	37
3.7. PRUEBAS PRELIMINARES .....	39
3.8. APLICACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL 2 <sup>3</sup> .....	43
3.9. CONSTRUCCIÓN DE ISOTERMAS .....	43
3.10. APLICACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL 2 <sup>2</sup> .....	44
3.11. AJUSTE AL MODELO DE PELEG.....	44
3.12. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA .....	45
3.13. VIDA ÚTIL .....	47
3.13.1. EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA .....	47
3.13.2. DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE PERÓXIDOS .....	48
3.13.3. ENSAYO DE RANCIDEZ .....	50
3.13.4. DETERMINACIÓN DE MOHOS Y LEVADURAS .....	52
CAPÍTULO IV .....	54
RESULTADOS .....	54
4.1.DETERMINACIÓN DE HUMEDAD INICIAL – HIGO DESHIDRATADO .....	54
4.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES.....	54
4.3. RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL 2 <sup>3</sup> .....	57
4.3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL 2 <sup>3</sup> .....	57
4.3.2. EFECTOS PARA LA HUMEDAD Y RENDIMIENTO.....	62
4.3.3. ANÁLISIS DE VARIANZA.....	64

4.3.4.	INTERACCIÓN DE FACTORES .....	66
4.3.5.	GRÁFICAS DE CONTORNO.....	69
4.3.5.1.	GRÁFICAS DE CONTORNO- HUMEDAD .....	69
4.3.5.2.	GRÁFICAS DE CONTORNO- RENDIMIENTO .....	71
4.3.6.	VARIABLES ÓPTIMAS- DISEÑO 2 <sup>3</sup> .....	73
4.4.	RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE ISOTERMAS.....	74
4.5.	RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL 2 <sup>2</sup> .....	78
4.5.1.	DISEÑO EXPERIMENTAL 2 <sup>2</sup> .....	78
4.5.2.	ANÁLISIS DE EFECTOS EN LA HUMEDAD Y RENDIMIENTO.....	80
4.5.3.	ANÁLISIS DE VARIANZA PARA 2 <sup>2</sup> .....	83
4.5.4.	INTERACCIÓN DE LOS FACTORES EN EL DISEÑO 2 <sup>2</sup> .....	85
4.5.5.	GRÁFICAS DE CONTORNO PARA EL DISEÑO 2 <sup>2</sup> .....	88
4.5.6.	VARIABLES ÓPTIMAS PARA LA REHIDRATACIÓN .....	90
4.6.	CORRECCIÓN Y AJUSTE AL MODELO DE PELEG .....	91
4.7.	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD DE AGUA EN EL HIGO .....	93
4.8.	RESULTADOS DE VIDA ÚTIL.....	96
4.8.1.	EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA .....	96
4.8.2.	RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ÍNDICE DE PERÓXIDOS .....	101
4.8.3.	RESULTADOS DEL ENSAYO DE KREISS (RANCIDEZ) .....	102
4.8.4.	RECuento DE MOHOS Y LEVADURAS .....	103
CAPÍTULO V.....		105
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		105
5.1.	CONCLUSIONES.....	105
5.2.	RECOMENDACIONES .....	108
BIBLIOGRAFÍA .....		111



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 Imagen referencial del producto .....	3
Figura N° 2 Árbol del problema.....	3
Figura N° 3 Modelado de curvas de rehidratación con el modelo de Fick, Peleg y Weibull.....	19
Figura N° 4 Factores que influyen el crecimiento microbiano en alimentos.....	22
Figura N° 5 Consumo de oxígeno y concentración de peróxidos en función del tiempo .....	24
Figura N° 6 Modelo general de un proceso o sistema.....	25
Figura N° 7 Representación del diseño factorial $2^2$ .....	27
Figura N° 8 Diseño factorial $2^3$ y su representación gráfica .....	28
Figura N° 9 Vista exterior II DEPROQ.....	29
Figura N° 10 Ubicación "Chocolates Cóndor SRL" .....	30
Figura N° 11 Sistema de control de temperatura.....	32
Figura N° 12 Diagrama de conexión de circuito .....	32
Figura N° 13 Muestra de higo deshidratado.....	37
Figura N° 14 Flujo para la determinación de humedad en materia prima.....	38
Figura N° 15 Pesado de materia prima.....	40
Figura N° 16 Diagrama para la Elaboración del producto .....	41
Figura N° 17 Diagrama de flujo del proceso de rehidratación experimental .....	42
Figura N° 18 Diseño del recipiente para determinación de actividad de agua.....	45
Figura N° 19 Cámaras herméticas empleadas .....	45
Figura N° 20 Diagrama para determinación de actividad de agua .....	46
Figura N° 21 Diagrama de flujo determinación de índice de peróxidos .....	49
Figura N° 22 Diagrama ensayo de Kreiss .....	51
Figura N° 23 Esquema de análisis de mohos y levaduras .....	53

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1 Efectos principales para la humedad, diseño 2 <sup>3</sup> .....	62
Gráfico N° 2 Efectos principales para el rendimiento, diseño 2 <sup>3</sup> .....	63
Gráfico N° 3 Interacción de factores para la humedad- diseño 2 <sup>3</sup> .....	67
Gráfico N° 4 Interacción de factores para rendimiento- diseño 2 <sup>3</sup> .....	68
Gráfico N° 5 G. de contorno de humedad- M:V (1:3).....	69
Gráfico N° 6 G. de contorno de humedad- M:V (1:4).....	70
Gráfico N° 7 G. de contorno de rendimiento- M: V (1:3).....	71
Gráfico N° 8 G. de contorno de rendimiento- M: V (1:4).....	72
Gráfico N° 9 Isotermas humedad vs tiempo.....	76
Gráfico N° 10 Isotermas rendimiento vs tiempo .....	77
Gráfico N° 11 Efecto de temperatura y tiempo en la humedad.....	81
Gráfico N° 12 Efecto de temperatura y tiempo en el rendimiento .....	82
Gráfico N° 13 Interacción de factores para humedad.....	86
Gráfico N° 14 Interacción de factores para el rendimiento .....	87
Gráfico N° 15 G. de contorno para la humedad .....	88
Gráfico N° 16 G. de contorno para el rendimiento.....	89
Gráfico N° 17 Actividad de agua vs %agua .....	95
Gráfico N° 18 Evaluación - apariencia.....	96
Gráfico N° 19 Evaluación- color .....	97
Gráfico N° 20 Evaluación- sabor.....	98
Gráfico N° 21 Evaluación- textura .....	99
Gráfico N° 22 Evaluación- olor.....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Composición nutricional del higo .....	7
Tabla N° 2 $a_w$ mínima para el crecimiento de organismos .....	13
Tabla N° 3 $a_w$ de sales de referencia.....	14
Tabla N° 4 Proveedores de materia prima.....	30
Tabla N° 5 Equipos empleados .....	31
Tabla N° 6 Materiales utilizados .....	33
Tabla N° 7 Reactivos empleados.....	34
Tabla N° 8 Tipo de factores en la materia prima.....	35
Tabla N° 9 Variables en el proceso .....	36
Tabla N° 10 Matriz de diseño experimental.....	36
Tabla N° 11 Matriz descriptiva de humedad en materia prima .....	39
Tabla N° 12 Matriz diseño $2^3$ .....	43
Tabla N° 13 Matriz de diseño $2^2$ .....	44
Tabla N° 14 Resultados de la humedad inicial de higos deshidratados .....	54
Tabla N° 15 Resultados pruebas preliminares de temperatura, tiempo y M:V .....	55
Tabla N° 16 Resultados cualitativos pruebas preliminares .....	56
Tabla N° 17 Niveles bajo y alto para T, t y M:V.....	57
Tabla N° 18 Matriz experimental $2^3$ .....	58
Tabla N° 19 Resultados de humedad y rendimiento de diseño $2^3$ .....	59
Tabla N° 20 Evaluación cualitativa del diseño $2^3$ .....	60
Tabla N° 21 Análisis de varianza para la humedad- diseño $2^3$ .....	64
Tabla N° 22 Análisis de varianza para el rendimiento – diseño $2^3$ .....	65
Tabla N° 23 Optimización de respuesta: Rendimiento .....	73
Tabla N° 24 Resultados de isoterms.....	74
Tabla N° 25 Niveles bajo y alto - diseño $2^2$ .....	78
Tabla N° 26 Matriz experimental del diseño $2^2$ .....	79
Tabla N° 27 Resultados del diseño $2^2$ .....	79
Tabla N° 28 Análisis de varianza para humedad.....	83
Tabla N° 29 Análisis de varianza para el rendimiento .....	84
Tabla N° 30 Optimización de respuesta: %R, %X.....	90

Tabla N° 31 Isotermas de humedad corregidas .....	91
Tabla N° 32 Parámetros ajustados al modelo de Peleg .....	92
Tabla N° 33 Cantidad de agua perdida o ganada en soluciones saturadas .....	93
Tabla N° 34 Índice de peróxidos por etapas.....	101
Tabla N° 35 Evaluación cualitativa del ensayo de Kreiss .....	102
Tabla N° 36 Resultado del recuento de mohos.....	103

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. ANTECEDENTES

Ante la diversificación de productos alimenticios, se ha convertido en una necesidad de la industria, la innovación constante de la misma, para la vigencia de las marcas. Sin embargo, en la innovación se deben considerar también los procesos adecuados para que esta sea desarrollada de manera eficiente.

Es así que la Fábrica de Chocolates y Dulces Cóndor SRL, siendo una de las empresas nacionales más reconocidas en su rubro, está en constante innovación de productos que sean de agrado para el consumidor. Esta innovación, está apoyada en estudios que garanticen los adecuados procesos y operaciones que se requiere cumplan con el objetivo final.

Una vía de innovación es la incorporación de diversas materias primas, que tras un proceso, tengan un valor agregado. En tal sentido se ha considerado a la fruta higo, la cual es producida entre los meses de febrero y marzo, al final del verano en diferentes zonas de Cochabamba, donde además existe potencial de producción en comunidades como Viloma Cala Cala y en el municipio de Sipe Sipe (Revollo, 2022).

Dentro de la estructura de los alimentos, mucho más en la de los frutos, es de gran importancia la presencia de agua. Las propiedades coligativas, reológicas y de textura de un alimento dependen de su contenido de agua, aún cuando esta también influye definitivamente en las reacciones físicas, químicas, enzimáticas y microbiológicas (Badui Dergal, 2006). Puesto que el agua es un componente de vida, dentro de los alimentos este también puede implicar un riesgo, siendo coadyuvante al crecimiento de microorganismos (Cardona Serrate, 2019).

Hoy en día, varios frutos son deshidratados como medida de conservación, debido a su escasez en ciertas épocas del año. Sin embargo, algunos alimentos deshidratados deben ser rehidratados para su consumo o uso posterior en diferentes procesos (Marín et al., 2006).

Durante el proceso de rehidratación, el producto seco, que se sumerge en agua o algún otro medio acuoso, se somete a varios cambios fisicoquímicos simultáneos y a cambios relacionados con la humedad y el contenido de sólidos, porosidad, volumen, temperatura, transiciones de estado físico y textura (Zura-Bravo et al., 2013).

En el proceso de rehidratación, se da lugar una transferencia de materia en la cual el agua es absorbida en mayor medida al inicio del proceso, debido a la saturación de los espacios intracelulares (Marín et al., 2006). En este fenómeno ocurren procesos simultáneos:

- Absorción de agua
- Lixiviación de solutos
- Incremento en volumen

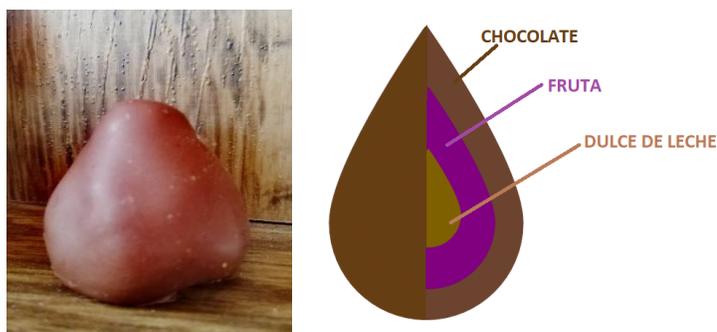
Un factor que influye en estos procesos, es la temperatura de la solución de rehidratación: un alimento deshidratado a una temperatura constante, y luego rehidratado a diferentes temperaturas en un medio rehidratante, aumenta su contenido de humedad de equilibrio. Cuanto mayor sea la temperatura de rehidratación, debido al gradiente de calor entre el interior del alimento y el líquido de inmersión (Krokida & Marinos-Kouris, 2003).

Una mayor temperatura del agua provoca una rápida absorción de agua de los productos secos durante la rehidratación. Además, las temperaturas de secado y métodos influyen en el comportamiento de los frutos en la rehidratación a diferentes temperaturas, ya que la permeabilidad de la estructura celulósica es alterada por la deposición de algunas sustancias arrastradas por el flujo de agua durante el secado, afectando a la tasa de absorción (Pashazadeh et al., 2020)

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Fábrica de Chocolates y Dulces *Cóndor SRL*, tiene interés en el desarrollo de un producto para su línea de bañados, que incorpore al higo como relleno, (Figura N°1) el cual contará con un relleno de dulce de leche y será bañado con chocolate. La materia base a usar es un higo deshidratado, sin embargo, para poder rellenar este adecuadamente, se requiere rehidratación al fruto para que las paredes recuperen su elasticidad.

Figura N° 1 Imagen referencial del producto



Fuente: Elaboración propia

Es en la operación de rehidratación que se tiene el problema en el desarrollo del producto, puesto que al incrementar la actividad de agua en el fruto se presenta el riesgo en contaminación por microorganismos (Cardona Serrate, 2019). Si la actividad de agua es incrementada sin un control, el producto perecerá con mayor rapidez, por otro lado, si la actividad de agua no es lo suficiente para que las paredes del fruto se adapten al relleno, el producto tendrá un aspecto no agradable.

En pruebas preliminares que realizó la empresa, para el desarrollo del producto, se presentó el principal problema, la difícil maleabilidad del higo (Figura N°2). Es a partir de este problema, que se identifica la necesidad de aplicar un proceso de rehidratación adecuado, para contrarrestar los efectos de la baja adaptabilidad del higo.

Figura N° 2 Árbol del problema



Fuente: Elaboración propia

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Determinar las variables óptimas de rehidratación del higo

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar pruebas con las variables de tiempo, relación masa volumen y temperatura, adecuadas para el uso del higo rehidratado como relleno
- Determinar la actividad de agua que tiene el higo en el relleno en el producto final
- Establecer la vida útil del producto final

### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

#### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

La rehidratación es un proceso muy complejo e importante en aquel alimento que ha sido secado, ya que esta se centra en la influencia del método de secado sobre la capacidad de restitución del alimento (Rurush & Alvarado, 2022). En tal sentido, el proyecto responde con la aplicación de forma controlada este proceso en la Elaboración de un nuevo producto, que cumple con las condiciones que exige la empresa.

#### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

El desarrollo de un nuevo producto y la apertura de una línea de producción trae consigo el acceso a un nuevo mercado de consumidores, el cual implica una nueva fuente de ingresos hacia “*Cóndor SRL*”, además con la determinación de parámetros de trabajo, tiempo y temperatura, óptimos, que se traduce en condiciones que no signifiquen pérdidas para la empresa.

#### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL**

Los higos presentan una mayor proporción de fibra alimentaria en comparación con otros frutos como pueden ser los dátiles, las manzanas o las naranjas (Portal Frutícola, n.d.). Así, los higos pueden ser un componente ideal de la dieta tanto en adultos como en niños ya que representan una fuente de dulzor y elevados niveles de fibra (Bauzá Florit, 2017).

#### 1.4.4. JUSTIFICACIÓN ACADÉMICA

Se obtuvo un modelo matemático de la humedad con respecto al tiempo de rehidratación a distintas temperaturas de trabajo. Esto responde a una necesidad de estandarizar los procesos, en este caso se busca el generar el modelo que sea útil para determinar las condiciones de operación de acuerdo al grado de humedad que requiera el fruto, mismo que puede ser empleado para distintos productos.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. EL HIGO

El higo (*Ficus carica*) es una fruta originaria de la región del Mediterráneo, aunque actualmente se cultiva en diversas partes del mundo con climas cálidos y secos. Perteneció a la familia *Moraceae* y es conocido por su sabor dulce y distintiva textura carnosa. El higo ha sido parte de la dieta humana desde tiempos antiguos, siendo valorado tanto por su agradable sabor como por sus beneficios nutricionales y propiedades medicinales (Usquiano, 2013).

Los higos deshidratados son obtenidos a través de un proceso de secado solar, el cual preserva sus propiedades nutricionales y sabores característicos de manera natural (Silva et al., 2011). Este método de deshidratación implica exponer los higos frescos a la radiación solar en los valles tarijeños y cochabambinos, regiones conocidas por su clima óptimo y condiciones geográficas favorables para esta técnica. El intenso sol de estas áreas permite una evaporación gradual del agua contenida en los higos, lo que resulta en una concentración de sus azúcares naturales (Catraro, 2014)

##### 2.1.1. CARACTERÍSTICAS

###### 2.1.1.1. CULTIVO

La *Ficus carica L.*, también llamada higuera, se caracteriza por su rápido crecimiento, alcanzando alturas de 3 a 6 metros y anchos de copa de hasta 9 a 10 metros. Su tronco es grueso y robusto. Las ramas cuelgan y pueden enraizar fácilmente en contacto con el suelo. El sistema radicular es superficial, fibroso y ampliamente extendido lateralmente (Catraro, 2014).

Sus flores unisexuadas, están distribuidas por la superficie interna de un receptáculo lobuloso; este receptáculo, tras la fecundación, se hincha y se vuelve carnoso, formando una masa rica de materias azucaradas, el conjunto es un fruto múltiple (sicono). Cubierto por una piel verdosa, negra o morada (Usquiano, 2013).

### 2.1.1.2. VALORES NUTRICIONALES

El higo es un fruto con niveles altos de fibra, agua y vitaminas. Por su composición es un alimento favorable para dietas equilibradas. Posee además propiedades antiirreumáticas que son de beneficio para las personas que tienen un desgaste excesivo en sus articulaciones (Catraro, 2014).

*Tabla N° 1 Composición nutricional del higo*

	<b>Por 100 g de porción comestible</b>	<b>Por ración (120 g)</b>	<b>Recomendaciones día- hombre</b>	<b>Recomendaciones día- mujer</b>
Energía [kcal]	85	87	3000	2300
Proteínas [g]	1.2	1.2	54	41
Lípidos totales [g]	-	-	100-117	77-89
Hidratos de carbono [g]	16	16.3	375-413	288-316
Fibra [g]	2.5	2.6	>35	>25
Agua [g]	80.3	81.9	2500	2000
Calcio [mg]	38	38.8	1000	1000
Hierro [mg]	0.6	0.6	10	18
Yodo [µg]	-	-	140	110
Magnesio [mg]	20	20.4	350	330
Zinc [mg]	0.3	0.3	15	15
Sodio [mg]	2	2	<2000	<2000
Potasio [mg]	270	275.4	3500	3500
Fósforo [mg]	22.5	23	700	700
Selenio [µg]	-	-	70	55
Tiamina [g]	0.06	0.06	1.2	0.9

Riboflavina [mg]	0.05	0.05	1.8	1.4
Equivalentes niacina [mg]	0.5	0.5	20	15
Vitamina B6 [mg]	0.11	0.11	1.8	1.6
Folatos [μg]	0	-	400	400
Vitamina B12 [μg]	-	0	2	2
Vitamina C [mg]	2	2	60	60
Vitamina A: Eq. Retinol [μg]	8	8.2	1000	800
Vitamina D [μg]	0	0	15	15
Vitamina E [mg]	-	-	12	12

Fuente: Adaptado de (Silva et al., 2011)

Como se observa en la Tabla N°1, la cantidad de fibra presente en el higo es elevada, por lo que su consumo ayuda a la regulación en problemas gastrointestinales; Dentro de sus componentes, la pectina presente en los higos desempeña un papel relevante al favorecer la expulsión del colesterol y toxinas durante el proceso digestivo (Bauzá Florit, 2017). Asimismo, el higo presenta propiedades antirreumáticas que benefician a personas con actividad física intensa y desgaste en las articulaciones.

Otra cualidad del higo es su gran poder expectorante, que contribuye a la prevención de infecciones respiratorias como bronquitis, catarros y exceso de mucosidad (Silva et al., 2011).

### 2.1.2. USOS

El higo se considera muy importante para el ser humano por desempeñar papel vital en la reducción del colesterol, el fortalecimiento del corazón y el control de la respiración. Se han

identificado más de 100 bioactivos como arabinosa,  $\beta$ -amirinas,  $\beta$ -carotenos, glucósidos,  $\beta$ -setosteroles y xantotoxol (Gani et al., 2018).

La higuera es muy útil para tratar enfermedades como la bronquitis, estomacales como la gastritis, estreñimiento o irregularidades en la digestión. Posee propiedades laxantes, antiirreumáticas, ayuda a reafirmar la piel. Los higos son utilizados en la cocina, en postres, en mermeladas, compotas, jugos, también se utilizan en la repostería (Usquiano, 2013).

Cada vez más consumidores están familiarizados con los alimentos nutricionales y funcionales, buscando productos que ofrezcan seguridad alimentaria y beneficios adicionales para la salud, además de su valor nutricional. Los alimentos funcionales están ganando popularidad debido a sus efectos positivos en la salud. La demanda de estos alimentos ha aumentado, y se han desarrollado numerosos productos, como galletas, pan, carne y bebidas lácteas probióticas, que son considerados funcionales por sus altos niveles de proteínas, fibra y contenido fenólico total (Rasool et al., 2023).

En los frutos de *F. carica*, se aislaron 6-O-acil- $\beta$ -D-glucosil- $\beta$ -sitosteroles junto con sus derivados palmitoil, linoleil, estearil y oleil. Diferentes extractos de frutos y hojas mostraron una potente actividad inhibidora contra las enzimas  $\alpha$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa, que coadyuvan al manejo de la diabetes (Deepa et al., 2018).

### 2.1.3. PLAGAS, ENFERMEDADES Y FISIOPATÍAS

Las higueras, como todo árbol productor de frutas puede presentar problemas de plagas y enfermedades, siendo sus principales atacantes la cochinilla de higuera, mosca del mediterráneo y mosca del higo (Melgarejo, 1999), pudiendo estas generar las siguientes afecciones:

- Mosca de las frutas (*Ceratitis capitata* Wied).
- Mosca del higo (*Lonchea aristella* Beck)
- Mosquito verde (*Empoasca*, sp.)
- Escama de la higuera (*Lepidosaphes fici* Er.)
- Cochinita de la higuera (*Ceroplastes rusci* L.)
- Barrenillo de la higuera (*Hypoborus ficus* Er.)

- Oruga de las hojas (*Simaethis pariana* Clerk)
- Barreneta (*Myelois ceratoniae* Zell)
- Barrillo (*Hysteropterum grylloides* F.)
- Nematodos
- Podredumbres del sistema radicular (*Roesleria hypogea*, *Armillaria mellea* (Vahl) Kummer, *Rosellinia necatrix* (Hart) Berl.)
- Negrilla o Fumagina
- Cerotelium fici (*Butler*) Arthur
- Antracnosis (*Gleosporium fructigenum* Berk)
- Alternaria (*Alternaria solani* Sor.)
- Chancro del tronco (*Cytosporas*)
- Pudrición roja del fruto (*Rhizopus* sp.)
- Podredumbre interna (*Fusarium moniliforme* Sheldon)
- Virosis: mosaico de la higuera.

La mayoría de estas afecciones no se consideran relevantes económicamente pues ante una detección temprana, puede ser controlada debido a que son provocadas por plagas, al realizar tratamientos con insecticidas y/o fungicidas no genera mayor problema en la producción, sin embargo si no se detectan, implica la pérdida de la producción de fruta, pues estas afecciones no permiten completar el ciclo a las higueras (Casadomet et al., 2015).

#### **2.1.3.1. PODREDUMBRE EN LOS FRUTOS**

El proceso de putrefacción en un fruto puede deberse a distintas condiciones en las que se encuentre, humedad, temperatura, agentes contaminantes, etc. En tal sentido debido a la presencia de esporas de distintos tipos de hongos, hacen del higo un producto susceptible. Se identificó algunos microorganismos responsables de la putrefacción en el fruto (Melgarejo, 1999), siendo estos:

- *Rizhopus* sp.: se detecta cualitativamente por las manchas rojas y la exudación de melaza
- *Fusarium moniliforme* o *Giberella fujikuroi*: se transmite en la polinización de higueras tipo Esmira, provoca la pudrición de la pulpa sin permitir el desarrollo de esta.

Otros microorganismos que afectan a los higos son: *Alternaria*, *Cladosporium*, *Penicilium Giberella*, *Glomerella*, *Gleosporium* y *Botrytis*.

## 2.2. CONSERVACIÓN DE HIGOS

Dentro de los diversos problemas que pueden afectar a los higos, el principal deterioro es producido por la putrefacción, por ellos tras su cosecha se debe realizar su conservación en cadena de frío, refrigeración, hasta que llegue a su consumidor final, pues la alteración de esta cadena, incrementa la posibilidades de desarrollo de los microorganismos responsables de la putrefacción (InfoAgro, 2020).

Los estudios sobre las alteraciones que aparecen durante la conservación frigorífica, ponen de manifiesto que *Botrytis cinerea* era la principal causa de la pudrición de higos almacenados. Otros hongos como *Alternaria tenuis*, *Penicilium*, *Mucor* y *Rizopus spp.* también producían daños. Durante el almacenamiento frigorífico, aunque con retraso, se obtuvo el desarrollo de los anteriores hongos, por lo que hubo que realizar tratamientos con distintos fungicidas que mejoraron notablemente los resultados de esta conservación (Melgarejo, 1999).

Para su conservación en forma deshidratada, previamente se debe realizar un proceso de escaldado, sometiendo el fruto a ebullición durante 5 segundos, lo que permite la eliminación casi total de aquellas bacterias con las que se puso contaminar el higo, tras este proceso, se somete a secado solar o por bandejas hasta disminuir la humedad del fruto a un 40 % mínimo (Melgarejo, 1999).

## 2.3. ACTIVIDAD DEL AGUA

La actividad del agua  $a_w$  se define formalmente como la presión parcial de vapor de agua en equilibrio con el alimento dividido por la presión parcial de vapor de agua en condiciones estándar (Cardona Serrate, 2019).

La actividad del agua afecta a las propiedades texturales de los alimentos, aquellos con una  $a_w$  elevada tienen una textura que se describe como húmeda, jugosa, tierna y masticable. Cuando se reduce la  $a_w$  de estos productos, los atributos texturales indeseables como dureza, sequedad, ranciedad y dureza. Los alimentos con poca  $a_w$  tienen atributos de textura que se

describen como crujientes, mientras que a  $a_w$  más altas, la textura se vuelve blanda (Barbosa et al., 2007).

El agua en los alimentos se divide en agua ligada, disponible para el crecimiento de microorganismos y transformaciones, y agua inmóvil o no disponible. La fracción con movilidad, conocida como actividad del agua ( $a_w$ ), es la que impulsa cambios en los alimentos. Esta medida es más relevante para predecir la estabilidad y vida útil de los productos que el contenido total de agua. La actividad del agua refleja la interacción con otros componentes del alimento y está relacionada con formulación, control de procesos, migración de humedad en el almacenamiento y otros factores (Badui Dergal, 2006).

La actividad es un concepto termodinámico, definido por Lewis y Randall (1961) como "La actividad es, a una temperatura dada, la relación entre la fugacidad,  $f$ , de una sustancia y su fugacidad  $f^\circ$  en algún estado que, por conveniencia, se ha elegido como estado estándar", expresado como:

$$a = \left(\frac{f}{f^\circ}\right)_T$$

La fugacidad es una medida que indica la tendencia de una sustancia a escapar. En el contexto de sistemas en equilibrio, puede sustituirse por la presión de vapor, siempre que el vapor se comporte como un gas ideal. El término "estado estándar" se refiere a una muestra caracterizada bajo condiciones bien definidas, elegidas como referencia. Es crucial que la medición de referencia se realice a la misma temperatura que la muestra estudiada.

En termodinámica, la actividad está relacionada con otros parámetros como la energía libre, la entalpía y el potencial químico. Scott propuso la actividad del agua ( $a_w$ ) como una medida útil para comprender la influencia del agua en las propiedades y estados de equilibrio de un sistema. Esta actividad se define como la relación entre la fugacidad del agua en el sistema y la fugacidad del agua líquida pura a la misma temperatura (Barbosa et al., 2007).

$$a_w = \left(\frac{f_w}{f_w^\circ}\right)_T$$

La definición de actividad del agua ( $a_w$ ) se aplica exclusivamente a sistemas en equilibrio. La fugacidad, que mide la tendencia a escapar, se expresa en unidades de presión y considera la no idealidad en la fase gaseosa. Afortunadamente, en una buena aproximación, la fugacidad puede sustituirse por la presión de vapor o la presión de vapor parcial en equilibrio en todos los sistemas relevantes. El error asociado con esta aproximación es menor al 0.1% en condiciones normales, por lo que esta sustitución es común en ciencias de los alimentos (Barbosa et al., 2007).

Aunque la propiedad de la fugacidad es crucial para definir exactamente la actividad, muchos libros de texto no la mencionan. La actividad del agua ( $a_w$ ) se define operativamente como la relación entre la presión de vapor parcial de agua en equilibrio en el sistema ( $p_w$ ) y la presión de vapor parcial de agua pura en equilibrio ( $p_w^\circ$ ) a la misma temperatura, como se describe en la siguiente ecuación:

$$a_w = \left(\frac{p_w}{p_w^\circ}\right)_T$$

La actividad de agua tiene relación con las condiciones de crecimiento de microorganismos (Tabla N°2), por ello es que su determinación en alimentos es de gran importancia, en tal sentido, se puede realizar en laboratorio pruebas experimentales, apoyadas en la actividad de agua de deferentes sales de referencia (Tabla N°3) (Herrera et al., 2003).

*Tabla N° 2  $a_w$  mínima para el crecimiento de organismos*

<b>Microorganismo</b>	<b><math>a_w</math></b>
Bacterias	0.91
Levaduras	0.88
Mohos	0.8
Bacterias halófilas	0.75
Mohos xerófilos	0.65

---

Levadura osmófilas	0.6
--------------------	-----

---

Fuente: Adaptado de (Herrera et al., 2003)

*Tabla N° 3  $a_w$  de sales de referencia*

Sal de referencia	$a_w$ (25 °C)	$a_w$ (30 °C)
MgCl <sub>2</sub>	0.328	0.324
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.432	0.432
NaNO <sub>3</sub>	0.743	0.731
KBr	0.809	0.803
KCl	0.843	0.836
KNO <sub>3</sub>	0.936	0.923
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.973	0.97

Fuente: Adaptado de (Herrera et al., 2003)

## 2.4. DESHIDRATACIÓN DE LOS ALIMENTOS

A lo largo de la historia, la deshidratación ha sido una técnica ampliamente utilizada para conservar los alimentos. Esta técnica busca preservar la calidad de los alimentos al reducir su actividad de agua ( $a_w$ ) mediante la disminución del contenido de humedad, evitando así su deterioro y contaminación microbiológica durante el almacenamiento. Existen varios métodos de deshidratación, como el secado solar, aire caliente, microondas, liofilización, atomización y deshidratación osmótica. Sin embargo, para obtener alimentos deshidratados de alta calidad, es crucial estudiar en detalle los fenómenos de transferencia de materia y energía involucrados en el proceso, así como los cambios estructurales y reacciones bioquímicas que ocurren durante el mismo, como la oxidación, reacciones enzimáticas y no enzimáticas, y la desnaturalización (Marín et al., 2006)

## **2.5. REHIDRATACIÓN DE LOS ALIMENTOS**

La rehidratación es un proceso complejo que tiene como objetivo restaurar las propiedades del producto fresco al poner en contacto los productos deshidratados con una fase líquida (Maldonado et al., 2010).

La rehidratación se basa en el principio de difusión osmótica. Cuando un alimento se deshidrata, el agua presente en su estructura se elimina, dejando atrás los nutrientes y sólidos. Para revertir este proceso y devolver el agua al alimento, se sumerge en agua u otro líquido, lo que permite que las moléculas de agua en el líquido entren en las estructuras porosas del alimento deshidratado a través de un proceso de difusión (Muñiz, 2019).

El proceso de rehidratación de alimentos deshidratados no es simplemente el proceso inverso de la deshidratación. Ambos fenómenos tienen mecanismos de transferencia de materia diferentes y dependen de factores distintos. Antes de la deshidratación, los pretratamientos juegan un papel crucial, ya que afectan las características y composición del producto final rehidratado, tales como la inmersión en soluciones azucaradas, salinas o ácidas, escaldado, deshidratación osmótica, por microondas (Marín et al., 2006).

## **2.6. TRANSFERENCIA DE MATERIA**

La transferencia de masa se verifica cuando el componente de una mezcla emigra en una misma fase o de una fase a otra, a causa de la diferencia de concentración entre dos puntos (Geankoplis, 1998). En la rehidratación de un alimento, la transferencia ocurre del medio acuoso hacia el alimento, descrito en un fenómeno de difusión.

En todas las operaciones de transferencia de masa, la difusión ocurre por lo menos en una fase y con frecuencia en dos fases (McCabe et al., 2007). La difusión es un fenómeno fundamental en la transferencia de materia que ocurre cuando los componentes de una mezcla se mueven desde regiones de alta concentración a regiones de baja concentración, hasta que se alcanza un equilibrio (Vian & Ocón, 1997).

### 2.6.1. LEY DE FICK

La Ley de Fick es una ecuación que describe el fenómeno de la difusión y se utiliza para calcular el flujo de masa que ocurre debido a la diferencia de concentración entre dos regiones (Bird et al., 2006)

La ley de Fick se presenta en dos formas, una para difusión en estado estacionario y otra para difusión en estado no estacionario:

#### 2.6.1.1. LEY DE FICK EN ESTADO ESTACIONARIO

Esta ley describe la difusión de masa cuando la concentración no cambia con el tiempo y se aplica en sistemas donde las condiciones son constantes. La ecuación se expresa como:

$$J_A = -D_v * \frac{dC_A}{db}$$

Donde:

$J_A$  es el flujo de masa (cantidad de masa que atraviesa una unidad de área por unidad de tiempo).

$D_v$  es el coeficiente de difusión, que depende de las propiedades del material y del sistema en estudio.

$\frac{dC_A}{db}$  es el gradiente de concentración, es decir, el cambio en la concentración a lo largo de una distancia  $b$ .

El fenómeno de la difusión y el flujo de masa resultante en sistemas de mezclas conlleva a cuatro situaciones distintas:

- I. Transferencia de un solo componente: En este caso, solo un componente, llamado A, se transfiere hacia o desde la interfaz, mientras que el flujo total es igual al flujo de A.
- II. Equilibrio de flujos opuestos: Aquí, la difusión de un componente A en una mezcla está equilibrada por un flujo molar igual, pero en dirección opuesta del componente B, lo que resulta en un flujo molar neto nulo.

III. Difusión con flujos molares diferentes en direcciones opuestas: Esta situación ocurre cuando la difusión de los componentes A y B tiene lugar en direcciones opuestas, pero los flujos molares de ambos son diferentes

IV. Difusión de varios componentes con velocidades diferentes en la misma dirección: Aquí, dos o más componentes se difunden en la misma dirección, pero a velocidades diferentes.

Estas cuatro situaciones describen diferentes escenarios en los que ocurre la difusión en sistemas de mezclas, y su comprensión es esencial para el diseño y la optimización de procesos químicos y sistemas de transporte de masa (McCabe et al., 2007)

### 2.6.1.2. LEY DE FICK EN ESTADO NO ESTACIONARIO

La Ley de Fick en estado no estacionario es una ecuación que describe la difusión de masa cuando las condiciones cambian con el tiempo y la concentración de una especie varía en función de la posición y el tiempo. Esta ecuación es utilizada para modelar la difusión en sistemas donde las concentraciones no están en equilibrio y cambian con el tiempo (Bird et al., 2006). En un sistema donde no ocurre reacción química, la ecuación se describe como:

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_v * \frac{\partial^2 C_A}{db^2}$$

Donde:

$\frac{\partial C_A}{\partial t}$  es la tasa de cambio de concentración con respecto al tiempo.

$\frac{\partial^2 C_A}{db^2}$  es la segunda derivada de la concentración con respecto a la posición b.

$D_v$  es el coeficiente de difusión, que depende de las propiedades del material y del sistema en estudio.

## 2.7. MODELOS EMPÍRICOS

La transferencia de masa que existe en el proceso de rehidratación, puede ser descrito matemáticamente mediante la Ley de Fick, sin embargo, se conoce de estudios que han

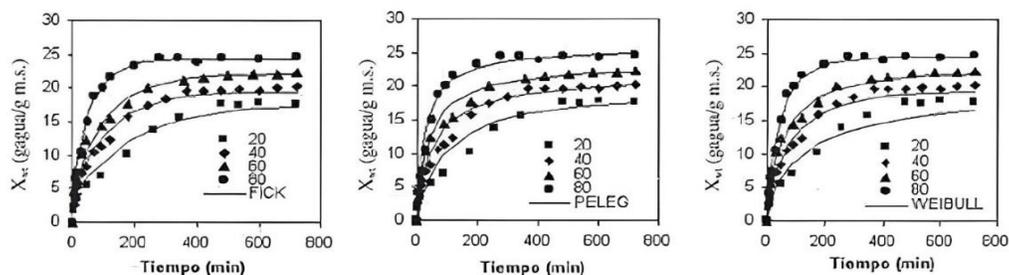
mostrado mejores resultados, haciendo uso de modelos empíricos. En tal sentido (Lopez- Quiroga et al., 2019) examinaron la cinética de rehidratación en tomates liofilizados y su influencia en la calidad del producto final. Las redes porosas mejoran la absorción y transporte de agua, resultando en una mayor calidad de los productos rehidratados. Se analizó la rehidratación de tomates frescos a diferentes temperaturas, ajustando cuatro modelos mediante regresión. Los modelos de Peleg y Weibull describieron mejor la cinética. Se evaluó el efecto de la temperatura, encontrando mayor capacidad de absorción con el aumento de la misma.

Suele utilizarse varios modelos que describan la rehidratación (Figura N°3), sin embargo, el modelo de Peleg, es uno de los que mejor ajuste al comportamiento de los alimentos tiene (Rurush & Alvarado, 2022).

El análisis de la capacidad de absorción de agua durante el remojo de leguminosas es crucial para el procesamiento y la calidad del producto final. Este fue estudiado por (Ulloa et al., 2016), en el que describe los modelos teóricos y empíricos que relacionan el contenido de humedad con el tiempo de remojo, optando emplear en su estudio modelos empíricos sencillos para facilitar los cálculos. La ecuación de Peleg, un modelo empírico de dos parámetros, es ampliamente utilizado para describir la hidratación de alimentos, mostrando una transición entre cinéticas de primer orden y orden cero.

En el estudio sobre el aumento de peso durante la inmersión de cilindros de manzana que habían sido secados a diferentes niveles de potencia de microondas y temperaturas del aire realizado por Bilbao-Sáinz et al.( 2005). Se utilizaron dos enfoques para el modelado: el primero, basado en la ecuación de difusión de Fick, no fue adecuado para explicar los datos de absorción. Sin embargo, el segundo enfoque, que empleó la ecuación de Peleg, mostró un buen ajuste a los datos experimentales.

Figura N° 3 Modelado de curvas de rehidratación con el modelo de Fick, Peleg y Weibull



Fuente: Adaptado de (Marín et al., 2006)

### 2.7.1. MODELO DE WEIBULL

El modelo de Weibull describe el comportamiento de sistemas o eventos que tienen algún grado de variabilidad, tal como la cinética de una transferencia osmótica (Corzo & Bracho, 2009). La función de densidad de la distribución de probabilidad de Weibull se puede escribir como:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}, & t > 0 \\ 0, & t \leq 0 \end{cases}$$

Siendo  $\alpha$  el parámetro de escala,  $\beta$  el parámetro de forma, y  $t$  el tiempo de muestreo.

En este estudio, se considera que  $n_i$  es la fracción de un componente  $C$  que cambia desde un valor inicial ( $C_0$ ) hasta un valor de equilibrio ( $C_e$ ) en un tiempo  $t$  determinado. Se introduce la variable aleatoria  $T$ , que representa el tiempo requerido para alcanzar cierto valor de  $n_i$ , y se describe mediante la función de densidad de probabilidad  $f(t)$  basada en la distribución de Weibull. Así,  $n(t)$  se define como la probabilidad de tener una cierta fracción de  $C$  en al menos un tiempo  $t$  específico bajo condiciones experimentales dadas. Por lo tanto, la distribución con Weibull queda de la siguiente forma:

$$f(t) = n(t) = \exp\left(-\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta}$$

El modelo de Weibull fue normalizado para relacionar el parámetro de escala con el coeficiente de difusión de agua ( $D$ ) en la rehidratación de frutas cortadas en láminas infinitas:

$$\frac{X_W - X_{We}}{X_{W0} - X_{We}} = \exp\left(-\frac{t}{\alpha_n}\right)^\beta = \exp\left[-\left(\frac{tD}{L^2}\right)^\beta\right]$$

siendo  $X_W$ ,  $X_{We}$  y  $X_{W0}$  los contenidos de agua al cabo de un tiempo  $t$ , en el equilibrio e inicialmente,  $\alpha_n$  es el parámetro de escala normalizado,  $D$  el coeficiente de difusión del agua,  $t$  el tiempo de deshidratación, y  $L$ , espesor de la lámina.

### 2.7.2. MODELO DE PELEG

Las isothermas de sorción de humedad de los alimentos de mayor equilibrio se determinan permitiendo que una muestra seca absorba humedad en una atmósfera de humedad controlada. Se observan formas similares en una gran variedad de procesos físicos, desde la compactación del polvo por golpeteo hasta la acumulación de carga electrostática o fluencia mecánica (Peleg, 1988). En todos estos casos, las curvas podrían ser descritas por los mismos dos modelos de parámetros, que si se aplicaran a la sorción tomarían la forma:

$$X(t) = X_0 + t/(k_1 + k_2t)$$

Donde:

$X$ : *Humedad*

$X_0$ : *Humedad inicial*

$t$ : *tiempo [min]*

$k_1$ : *Constante de velocidad de Peleg*

$k_2$ : *Constante de capacidad de Peleg*

Es fácil demostrar que la humedad de equilibrio, cuando  $t$ , está dada por:

$$X_e = X_0 + 1/k_2$$

De manera similar, la tasa de sorción momentánea:

$$\frac{dX(t)}{dt} = \frac{k_1}{(k_1 + k_2t)^2}$$

El modelo de Peleg consta con dos parámetros para la descripción de la rehidratación. El parámetro  $k_1$  es la constante de velocidad de Peleg, que tiene relación con la tasa de absorción, y el parámetro  $k_2$  es la constante de capacidad de Peleg, que se relaciona con el contenido de humedad en el equilibrio y con la capacidad de retención de agua (Rurush & Alvarado, 2022).

## **2.8. VIDA ÚTIL**

La vida útil de un producto alimenticio se define como el período de tiempo en el cual el producto permanece seguro para el consumo, mantiene sus características deseadas en términos de aspecto, sabor, composición química y propiedades funcionales, y cumple con las declaraciones nutricionales o de propiedades saludables. Para estimar esta vida útil, es esencial comprender los diversos mecanismos de deterioro que afectarán al producto, incluyendo la pérdida de sus características sensoriales que afectan a la calidad, así como la pérdida de propiedades específicas (Alapont & Soriano, 2020).

En la determinación de vida útil, existen dos mecanismos por los cuales el alimento se deteriora, que se deben tener en cuenta, microbiológicos y fisicoquímicos (Paredes, 2023).

### **2.8.1. MECANISMO MICROBIOLÓGICO**

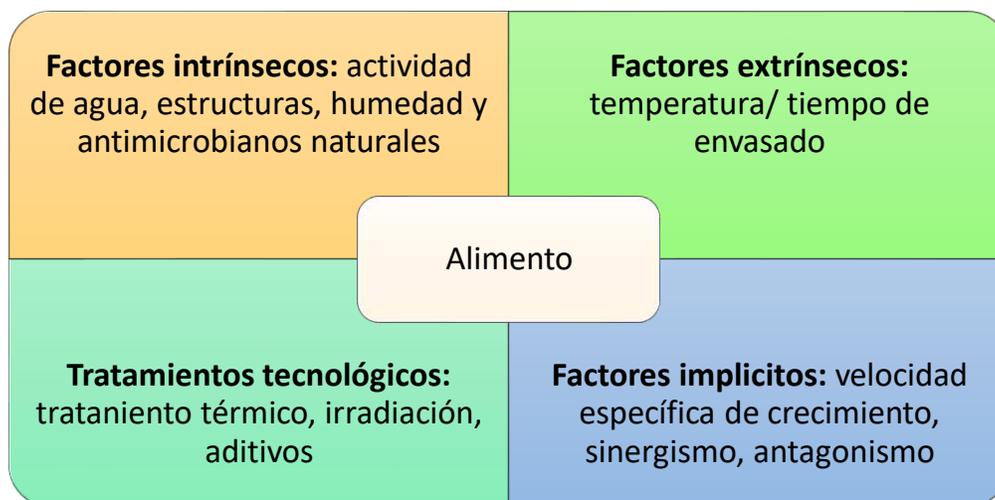
Los alimentos alcanzan su estabilidad microbiológica mediante técnicas de conservación que eliminan, reducen o previenen el crecimiento de microorganismos. Entre los grupos que pueden desarrollarse en los alimentos están las bacterias y los hongos, que deterioran el producto, así como los protozoarios y los virus, que utilizan los alimentos como vehículo (Carrillo Inungaray & Reyes Munguía, 2014).

Los alimentos son sistemas ricos en nutrientes y altamente susceptibles al desarrollo de microorganismos como bacterias, hongos y levaduras. Es fundamental controlar y limitar la carga microbiana en los alimentos para prevenir su deterioro y pérdida de calidad. Además, es crucial detectar y cuantificar microorganismos patógenos que puedan causar enfermedades y que son indeseables para el consumo. El análisis microbiológico es una herramienta esencial para identificar y evaluar los microorganismos presentes en los alimentos, así como para

evaluar la calidad higiénico-sanitaria del proceso de Elaboración, permitiendo identificar posibles puntos de contaminación en el proceso (Méndez, 2020).

Para el crecimiento de organismos microbianos existen distintos factores que influyen en el mismo (Figura N° 4), siendo estos variados para cada alimento (Lupano, 2013).

*Figura N° 4 Factores que influyen en el crecimiento microbiano en alimentos*



Fuente: Adaptado de (Carrillo Inungaray & Reyes Munguía, 2014)

Las bacterias se clasifican en varios grupos según sus características. Los virus, aunque no son células, causan enfermedades infecciosas y pueden mantenerse infecciosos fuera de las células. Los parásitos son unicelulares o multicelulares y son transmisibles por alimentos, pero no se multiplican en ellos. Su presencia en los alimentos está relacionada con la higiene y el manejo adecuado (Carrillo Inungaray & Reyes Munguía, 2014).

### **2.8.2. MECANISMO FISICOQUÍMICO**

El análisis fisicoquímico es una técnica que se utiliza para caracterizar los alimentos desde el punto de vista de su composición química. Esto incluye la identificación y cuantificación de diversos compuestos presentes en los alimentos, como proteínas, grasas, vitaminas, minerales, carbohidratos, contaminantes, residuos de plaguicidas, toxinas y

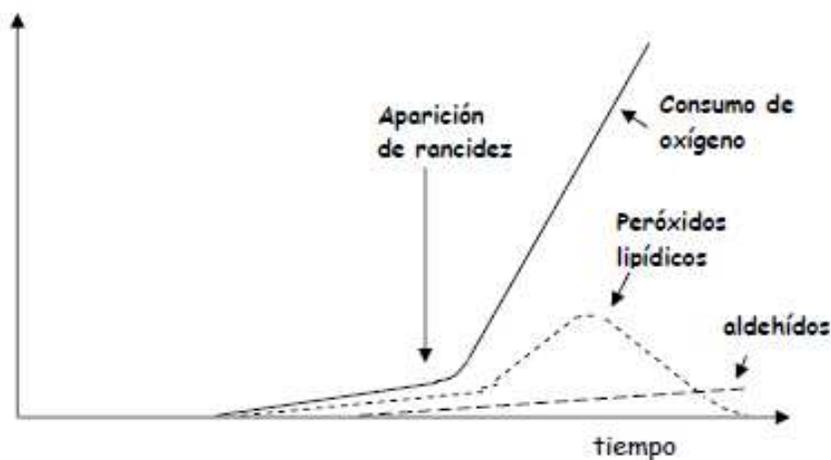
antioxidantes. Esta disciplina es de gran importancia para evaluar el valor nutricional y los riesgos toxicológicos de los alimentos (Méndez, 2020).

Aquellos productos alimenticios en base a chocolates tienen fracciones lipídicas altas, por lo que uno de los principales problemas en cuanto a la vida útil de los mismos radica en la oxidación (Rodríguez, 2021).

Los cambios en el olor y sabor del chocolate son la principal causa de su deterioro, causado por la oxidación de los ácidos grasos durante el almacenamiento. La formación de hidroperóxidos contribuye a olores y sabores desagradables, reduciendo la calidad nutricional, seguridad y vida útil del alimento. La tasa de oxidación lipídica depende de características intrínsecas, envasado y factores ambientales como oxígeno, temperatura, humedad y luz. Alimentos con altos niveles de ácidos grasos insaturados se oxidan y enrancian fácilmente, especialmente aquellos con alto contenido en grasa, rellenos grasos o frutos secos añadidos (Stauffer, 2007).

Si se analiza el consumo de oxígeno en lípidos puros a lo largo del tiempo, se pueden identificar tres etapas distintas. En el primer período, llamado período de inducción, no se detecta consumo de oxígeno ni se observa rancidez, lo cual es crucial para preservar la calidad del alimento. En el segundo período, el consumo de oxígeno es moderado y la concentración de radicales libres varía poco. En el tercer período, hay un aumento significativo en el consumo de oxígeno, acompañado de un incremento en la concentración de peróxidos que posteriormente disminuye debido a reacciones de descomposición, véase en Figura N°5.

Figura N° 5 Consumo de oxígeno y concentración de peróxidos en función del tiempo



Fuente: Adaptado de (Lupano, 2013)

El "índice de peróxidos" es una medida de la cantidad de oxígeno activo presente en un kilogramo de grasa, calculado a partir del yodo liberado del yoduro de potasio. Se supone que las sustancias que oxidan el yoduro de potasio son peróxidos u otros productos de oxidación de la grasa, por lo que el índice obtenido es una estimación cuantitativa de los peróxidos presentes en la grasa. La oxidación de los aceites produce oxígeno activo que reacciona con el yoduro de potasio, liberando yodo que luego se mide con tiosulfato de sodio utilizando almidón como indicador (Méndez, 2020).

Se emplea el índice de peróxidos para estimar el grado de oxidación de los lípidos, es útil para controlar la calidad de los aceites recién refinados y verificar si la etapa de desodorización ha sido adecuada (Lupano, 2013).

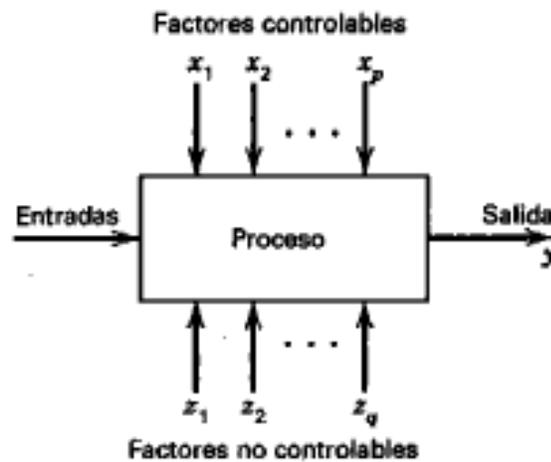
## 2.9. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño estadístico de experimentos es un proceso para planear cuidadosamente los experimentos de manera que se obtengan datos adecuados y se puedan analizar con métodos estadísticos para obtener conclusiones válidas y objetivas. Es fundamental para obtener resultados significativos y objetivos, especialmente cuando los datos están sujetos a errores experimentales. El diseño del experimento y el análisis estadístico de los datos están

estrechamente relacionados, y los diseños factoriales son eficientes cuando se estudian los efectos de dos o más factores, ya que permiten investigar todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores en cada réplica completa del experimento (Serrano, 2023).

En general, los experimentos se utilizan para estudiar el rendimiento de procesos y sistemas, que se pueden representar mediante un modelo que transforma una entrada en una o más respuestas observables. Algunas variables del proceso son controlables, mientras que otras no lo son. Los objetivos del experimento pueden incluir determinar las variables que más influyen en la respuesta, encontrar el ajuste que hace que la respuesta esté cercana al valor deseado, reducir la variabilidad de la respuesta y minimizar los efectos de las variables no controlables, (véase Figura N°6). Los experimentos a menudo involucran varios factores y buscan determinar la influencia de estos factores en la respuesta del sistema (Montgomery, 2004).

*Figura N° 6 Modelo general de un proceso o sistema*



Fuente: Adaptado de (Montgomery, 2004)

### **2.9.1. DISEÑO FACTORIAL**

El diseño factorial tiene como objetivo estudiar el efecto de varios factores en una o varias respuestas, cuando todos los factores son de interés. Por ejemplo, se busca determinar una combinación óptima de niveles de factores que mejore el desempeño del proceso. Los factores pueden ser cualitativos (máquinas, materiales, operadores, etc.) o cuantitativos

(temperatura, humedad, velocidad, presión, etc.). Para analizar el efecto de cada factor en la variable de respuesta, se eligen al menos dos niveles de prueba para cada uno. En el diseño factorial completo, se realizan aleatoriamente todas las posibles combinaciones de los niveles de los factores a investigar, lo cual se representa mediante una matriz de diseño o arreglo factorial con los puntos experimentales o tratamientos posibles (Gutiérrez & De la Vara, 2012).

De acuerdo a Montgomery (2004), algunas de las aplicaciones que tiene el diseño factorial en un proceso son:

- I. Mejoras en el rendimiento del proceso.
- II. Variabilidad reducida y conformidad más cercana con los requerimientos nominales o proyectados.
- III. Reducción del tiempo de desarrollo.
- IV. Reducción de los costos globales.

#### **2.9.1.1. DISEÑO FACTORIAL $2^k$**

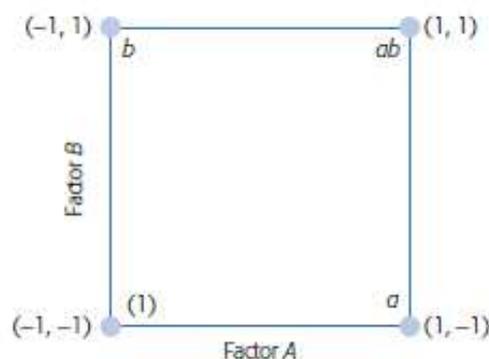
Los diseños factoriales  $2^k$  completos son útiles cuando se tienen entre dos y cinco factores a estudiar, lo que resulta en un rango de cuatro a 32 tratamientos, una cantidad manejable en muchas situaciones experimentales. Para casos con más de cinco factores, se recomienda utilizar un factorial fraccionado  $2^{k-p}$ . En general, los diseños factoriales en dos niveles, completos o fraccionados, son los más impactantes en las aplicaciones (Gutiérrez & De la Vara, 2012).

#### **2.9.1.1.2. DISEÑO FACTORIAL $2^2$**

Un diseño factorial  $2^2$  es un tipo de diseño experimental que se utiliza para estudiar el efecto de dos factores en una o varias respuestas. Los factores son variables que se consideran relevantes para el experimento y pueden ser cualitativos o cuantitativos. En este diseño, cada factor se estudia en dos niveles, generalmente alto y bajo. Esto significa que se realizan cuatro tratamientos en total, que son todas las combinaciones posibles de los niveles de los dos factores.

Este tipo de diseño ofrece varias ventajas, como la eficiencia en el uso de recursos, la capacidad para detectar interacciones entre los factores y la posibilidad de obtener información sobre la importancia relativa de cada factor, además de ser el diseño con mayor simplicidad en cuanto a su representación gráfica y su matriz de diseño, ver Figura N°7. Sin embargo, es importante tener en cuenta que un diseño factorial  $2^2$  puede no ser suficiente para estudiar relaciones más complejas entre los factores, y en algunos casos, pueden requerirse diseños factoriales con más niveles o factores adicionales (Montgomery, 2004).

*Figura N° 7 Representación del diseño factorial  $2^2$*

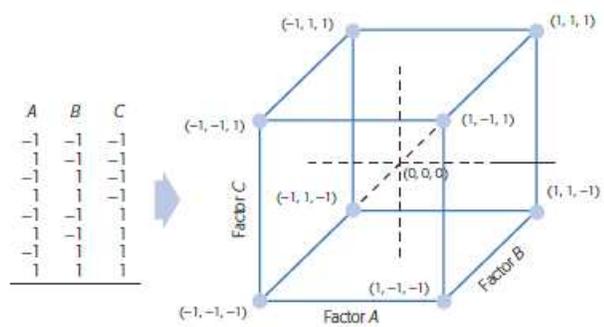


Fuente: Adaptado de (Gutiérrez & De la Vara, 2012)

### 2.9.1.1.3. DISEÑO FACTORIAL $2^3$

El diseño factorial  $2^3$  consiste en estudiar tres factores, cada uno en dos niveles. Este diseño consta de 8 tratamientos diferentes, que se pueden identificar utilizando las mismas notaciones del diseño  $2^2$ . Los tratamientos se representan geoméricamente como un cubo centrado en el origen, con ocho vértices que corresponden a los tratamientos, véase Figura N°8. La matriz de diseño se construye de manera sencilla alternando los signos menos y más en la primera columna, dos menos y dos más en la segunda columna, y cuatro menos y cuatro más en la tercera columna, siguiendo el orden estándar o de Yates (Gutiérrez & De la Vara, 2012).

Figura N° 8 Diseño factorial  $2^3$  y su representación gráfica



Fuente: Adaptado de (Gutiérrez & De la Vara, 2012)



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se llevó a cabo con el objetivo de determinar las variables óptimas para la Elaboración de un producto de interés para Fábrica de chocolates y dulces “Cóndor SRL”, utilizando un enfoque descriptivo y cuantitativo. Para lograrlo, se recopilaron datos cuantitativos mediante pruebas y análisis rigurosos en el laboratorio, enfocados en medir variables que afectan el proceso y características del producto. Además, se realizaron descripciones detalladas de los procesos involucrados en la Elaboración, identificando los factores clave que influían en el resultado final.

#### 3.2. LUGAR DE EJECUCIÓN

La ejecución de las pruebas necesarias para la investigación se realizó en dos áreas, de acuerdo al requerimiento de equipo y material en cada etapa.

##### 3.2.1. PRUEBAS DE LABORATORIO

Aquellas pruebas y estudios los cuales requirieron el uso de reactivos y/o equipos específicos para cada estudio, se realizaron en instalaciones del Instituto de Investigaciones de Desarrollo de Procesos Químicos (IIDEPROQ), dependiente de la carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad Mayor de San Andrés.

*Figura N° 9 Vista exterior IIDEPROQ*

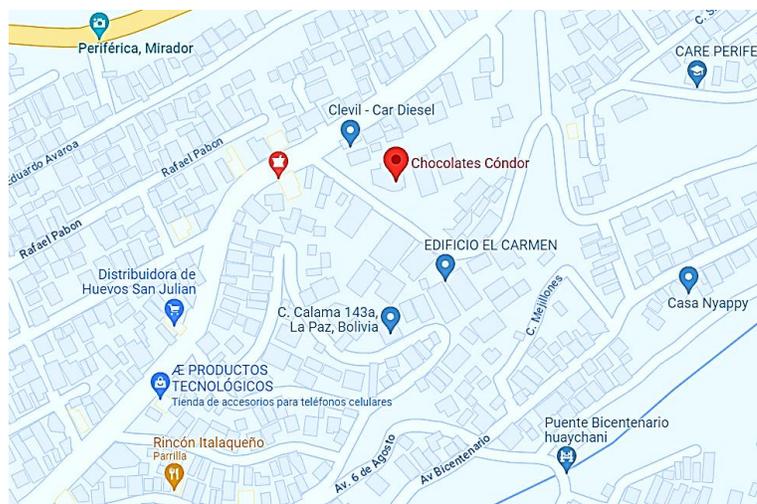


Fuente: Adaptado de (IIDEPROQ, 2023)

### 3.2.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Aquellas pruebas que no requirieron el uso de equipo específico de equipo, se realizaron en instalaciones de la empresa Fábrica de chocolates y dulces “Cóndor SRL”, ubicado en la zona Villa el Carmen, calle #10.

*Figura N° 10 Ubicación "Chocolates Cóndor SRL"*



Fuente: Adaptado de Google Maps, 2023

### 3.3. MATERIA PRIMA

En el desarrollo de pruebas para el producto, se emplearon los insumos detallados en la Tabla N°4.

*Tabla N° 4 Proveedores de materia prima*

<b>Materia prima</b>	<b>Proveedor</b>
Chocolate cobertura	Fábrica de chocolates y dulces “Cóndor SRL”
Dulce de leche	Industrias Alimenticias “Real”
Higo deshidratado	Tercerizado por “Cóndor SRL”

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

#### 3.4.1. EQUIPOS

Aquellos equipos que se requirieron para el desarrollo de pruebas experimentales, de caracterización, análisis fisicoquímico y pruebas microbiológicas, se detallan en la Tabla N°5.

*Tabla N° 5 Equipos empleados*

<b>Análisis fisicoquímico</b>	<b>Análisis microbiológico</b>	<b>Pruebas experimentales</b>
Horno de temperatura constante	Autoclave	Sensor PT100
Balanza analítica de precisión 0.0001g	Incubadora regulada a 25°C	Arduino UNO
Refractómetro 0-32°	Balanza analítica 0.01g	Hornilla eléctrica
Campana de flujo laminar		

Fuente: Elaboración propia

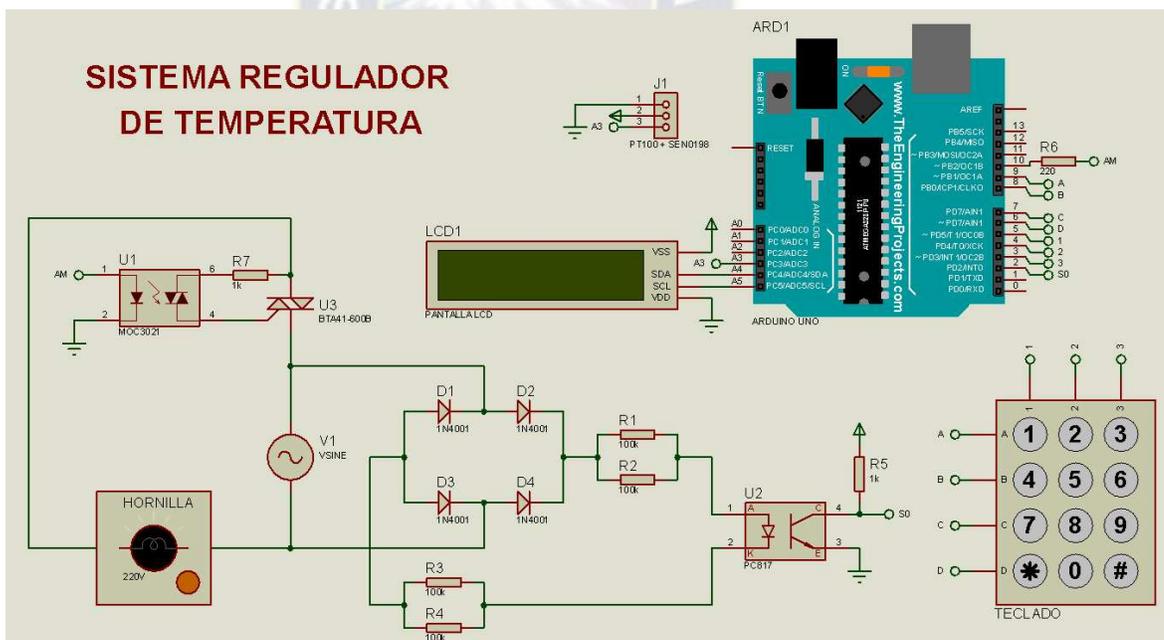
Para la ejecución de las pruebas experimentales, se empleó un sistema de control automático PID, véase Figura N°11, el cual fue montado en base al modelo de circuito que se observa en la Figura N°12. Este fue construido por la necesidad del proyecto de controlar la temperatura del proceso de rehidratación durante tiempos relativamente extendidos. El código con el cual trabaja el sistema se describe en ANEXO A.

Figura N° 11 Sistema de control de temperatura



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 12 Diagrama de conexión de circuito



Fuente: Elaboración propia con Proteus Design Suite

### 3.4.2. MATERIALES

Se emplearon los materiales detallados en la Tabla N°6, para el desarrollo de los distintos análisis en general.

*Tabla N° 6 Materiales utilizados*

<b>Material</b>	<b>Detalle</b>
Bureta	50 ml
Cajas Petri	15x10 mm
Espátula	Metálica
Matraz aforado	1000 ml
Matraz aforado	100 ml
Matraz Erlen Meyer	500 ml
Matraz Erlen Meyer	250 ml
Matraz Erlen Meyer	100 ml
Mechero	
Pesafiltro	
Pinzas	
Pipeta graduada	10 ml
Pipeta graduada	5 ml
Pipeta graduada	1 ml
Piseta	Plástico
Propipeta	goma
Termómetro	
Tubos	con tapa rosca
Varilla	Vidrio
Vasos de precipitado	1000 ml
Vasos de precipitado	500 ml
Vasos de precipitado	250 ml
Vasos de precipitado	50 ml
Vidrio reloj	

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3. REACTIVOS

Para llevar a cabo las pruebas físicoquímicas y microbiológicas necesarias, se requirió hacer uso de una serie de reactivos específicos. Estos componentes desempeñaron un papel fundamental en la ejecución precisa y confiable de los análisis.

Según al tipo de análisis para el cual fue empleado, los reactivos usados se clasifican de acuerdo a lo indicado en la Tabla N° 7.

*Tabla N° 7 Reactivos empleados*

<b>Análisis Físicoquímico</b>	<b>Análisis Microbiológico</b>
Ácido Acético	Ácido Tartárico
Ácido Clorhídrico	Agar Papa Dextrosa
Almidón	Peptona
Cloroformo	
Cloruro de Magnesio	
Cloruro de Sodio	
Floroglucinol	
Glicerina	
Sulfato De Potasio	
Tiosulfato De Sodio	
Yoduro De Potasio	

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES

#### 3.5.1. FACTORES EN LA MATERIA PRIMA

Como se describió en el punto 2.8, referente al diseño experimental en el capítulo 2, dentro de un proceso es necesario identificar aquellos factores que son controlables o no, en tal sentido tomando en cuenta como factores a las materias primas que intervienen en la Elaboración del producto, se estableció el tipo de factor de cada uno, expuesto en la Tabla N°8.

*Tabla N° 8 Tipo de factores en la materia prima*

<b>Materia prima</b>	<b>Factor</b>	<b>Motivo</b>
Chocolate cobertura	No controlable	El chocolate empleado sigue una receta establecida por “Cóndor SRL” para su línea de productos bañados, por lo que sus características no están sujetas a cambio.
Dulce de leche	No controlable	Es un insumo adquirido de otra entidad, por ello sus características no están sujetas a cambios.
Higo deshidratado	Controlable	Es la única materia prima en que se puede realizar tratamientos para adaptarlo al nuevo producto, debido a ser una materia que no fue sometida al uso de conservantes ni procesos que hayan alterado de manera drástica su estructura.

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2. VARIABLES EN EL PROCESO

Ante lo expuesto en los acápite 2.8. y 3.5.1, referidos a el diseño experimental y los factores en la materia prima respectivamente, Se estableció aquellos factores que intervienen en el proceso de rehidratación del higo deshidratado, véase Tabla N°9, para de esta forma plantear la matriz de experimentos que se muestra en la Tabla N°10..

*Tabla N° 9 Variables en el proceso*

<b>Variable</b>	<b>Detalle</b>
Temperatura	Existe dependencia directa entre la temperatura en el proceso y la humedad que se alcanza en la rehidratación.
Tiempo	Guarda relación con la velocidad en el incremento de la humedad dentro del higo deshidratado.
Cantidad de solución	Relacionado con la cantidad de solución a la que se expone el higo deshidratado.

Fuente: Elaboración propia

*Tabla N° 10 Matriz de diseño experimental*

A (tiempo)	B(Temperatura)	C (Relación M/V)
+	+	+
-	-	-

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. CARACTERIZACIÓN DE HIGO DESHIDRATADO

La determinación de la humedad inicial en el higo deshidratado fue fundamental para garantizar la calidad y estabilidad del nuevo producto elaborado con el higo rehidratado. Conocer su contenido de humedad permitió evaluar su aptitud para el proceso de rehidratación. Además, la determinación de la humedad inicial ayudó a establecer la cantidad de agua que debía reponerse durante el proceso de rehidratación, asegurando así que el producto final tuviera la textura, sabor y características sensoriales deseadas.

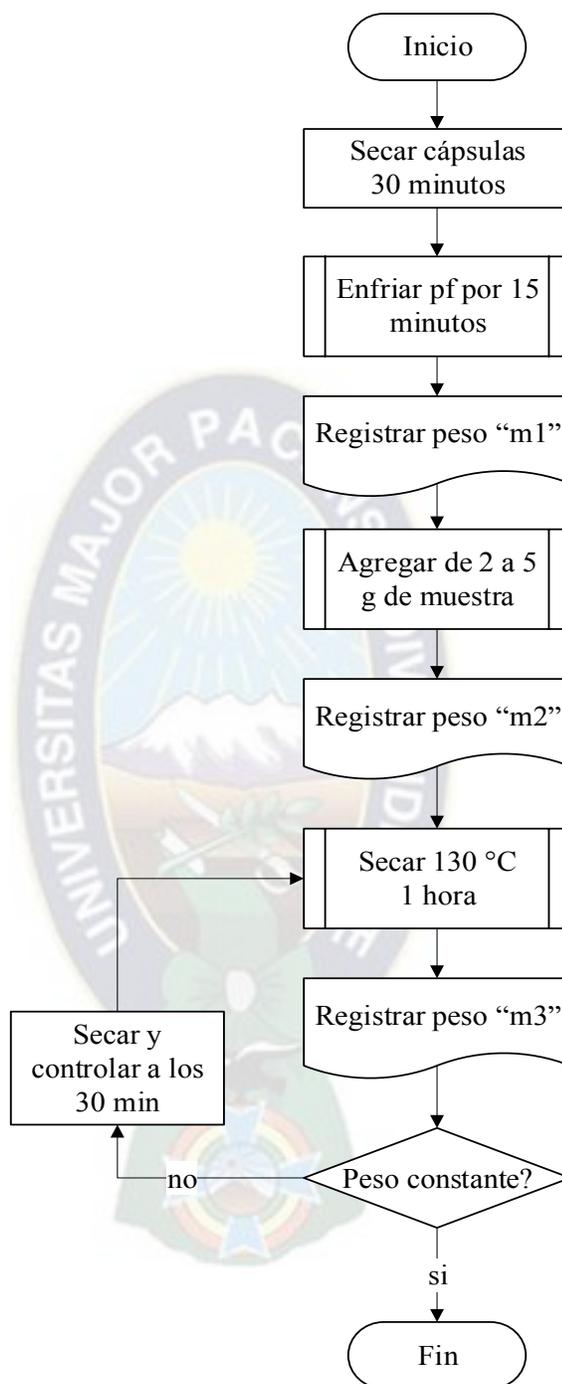
Inicialmente se realizó la caracterización de los higos deshidratados, de acuerdo a la norma boliviana NB 074- Norma para la determinación de humedad. El procedimiento fue realizado de acuerdo a la Figura N° 14- Flujograma para la determinación de humedad en materia prima.

*Figura N° 13 Muestra de higo deshidratado*



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 14 Flujograma para la determinación de humedad en materia prima



Fuente: Elaboración propia

Con la finalidad de evaluar distintos grados de deshidratación en el higo, se examinó tres nuestros de higos aparentemente con distinto grado de humedad, con la ecuación (1), teniendo en cuenta que para cada muestra se realiza dos experiencias para la obtención de un mejor

resultado, el planteamiento de las pruebas se observa en la Tabla N°11 en una matriz descriptiva.

*Tabla N° 11 Matriz descriptiva de humedad en materia prima*

<b>Codificación</b>	<b>Evaluación cualitativa</b>
H-A1	+ seco
H-A2	+ seco
H-B1	seco
H-B2	seco
H-C1	-seco
H-C2	-seco

Fuente: Elaboración propia

$$X_{mp\ i} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100 \quad Ec. (1)$$

Donde:

$X_{mp\ i}$  es la humedad tras el secado [%]

$m_1$  es la masa del pesafiltro vacío [g]

$m_2$  masa del pesafiltro y la muestra [g]

$m_3$  masa del pesafiltro y la muestra después del secado [g]

### 3.7. PRUEBAS PRELIMINARES

En esta etapa se realizó diversas pruebas con niveles aleatorios para cada variable, con la finalidad de obtener los niveles alto y bajo para cada una de ellas, de acuerdo a los resultados más adecuados de cada experiencia. Se evaluó la humedad, según la ecuación (2), características cualitativas de cada experiencia.

$$X_i = \frac{m_f - m_i}{m_f} * 100 \quad Ec. (2)$$

Donde:

$X_i$  es la humedad tras el proceso de rehidratación [%]

$m_i$  es la masa inicial de los higos deshidratados previo a la rehidratación [g]

$m_f$  masa de los higos deshidratados después de la rehidratación [g]

La evaluación cualitativa se realizó en base a una valoración de las características del producto final, el cual se elabora según el procedimiento descrito en la Figura N°16 en el que se muestra el diagrama para la Elaboración del producto, que contempla:

- I. Pesado de higos deshidratados: se procede a pesar en una balanza analítica, ya que es un dato fundamental para el proceso de rehidratación, debido a la relación masa: volumen (ver Figura N°15- pesado de materia prima)
- II. Desinfección con uso de UV: se emplea una cámara de desinfección con luz UV con la que cuenta “Cóndor SRL”, usada para evitar la contaminación en sus productos.
- III. Proceso de rehidratación de acuerdo al diagrama en la Figura N°17
- IV. Etapa de reposo, posterior inyección del relleno, en este caso corresponde dulce de leche, cantidad aproximada 5g. para realizar el control se empleó una balanza de precisión 0.1 g.
- V. Bañado de higos rellenos
- VI. Control de calidad y envasado

Estas pruebas preliminares y las pruebas que siguen el diseño experimental, siguen el mismo proceso que se describe en la Figura N°16.

*Figura N° 15 Pesado de materia prima*



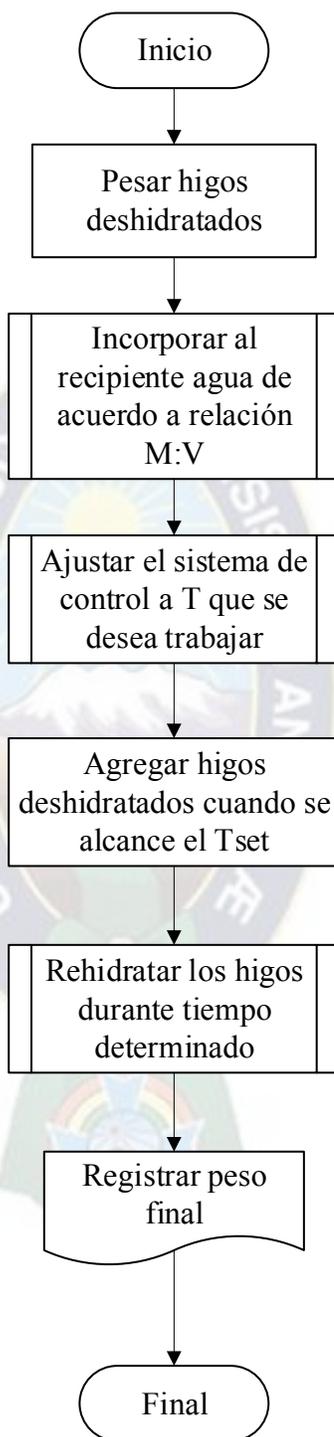
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 16 Diagrama para la Elaboración del producto



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 17 Diagrama de flujo del proceso de rehidratación experimental



Fuente: Elaboración propia

### 3.8. APLICACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL $2^3$

Para el planteamiento del diseño experimental, se utilizó el software Minitab ® 21.3. Con los resultados de la etapa preliminar se estableció un diseño experimental  $2^3$ , quedando de esta forma la matriz de experimentos expuesta en la Tabla N°12. Así también el análisis sobre los efectos de cada factor se analizó con el mismo software.

*Tabla N° 12 Matriz diseño  $2^3$*

Yates	T[°C]	t[ <i>min</i> ]	M:V
1	-	-	-
a	+	-	-
b	-	+	-
ab	+	+	-
c	-	-	+
ac	+	-	+
bc	-	+	+
abc	+	+	+

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, al tratarse de evaluar un producto alimenticio, el cual debió adecuarse a parámetros organolépticos, además de considerar los tiempos de producción, se planteó un segundo diseño experimental, para ajustar los valores de las variables y obtener un producto más agradable y adecuado para su producción.

### 3.9. CONSTRUCCIÓN DE ISOTERMAS

Previo al nuevo planteamiento experimental, se realizó la construcción de isotermas en función de la humedad y rendimiento, que permita justificar la elección de nuevos niveles para los factores.

Para la construcción de estas isotermas experimentales se realizó el procedimiento descrito en la figura N°16- diagrama del proceso de Elaboración del producto, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- I. Se seleccionó tres temperaturas, para posteriormente determinar niveles de factor (nivel alto y bajo), justificado además en los resultados previos del diseño 2<sup>3</sup>.
- II. Se controló y registró los datos en intervalos de tiempo cortos (5min)
- III. Se trabajó con dos réplicas para obtener datos más confiables.

### 3.10. APLICACIÓN DEL DISEÑO FACTORIAL 2<sup>2</sup>

Tomando en cuenta las características que requiere el higo rehidratado para pasar por la operación de relleno, además considerando el requerimiento de la empresa para acortar el tiempo de reposo que requiere previo a la operación de inyección de relleno, se trabajó con un diseño factorial 2<sup>2</sup>, que se describe en la tabla N°13.

*Tabla N° 13 Matriz de diseño 2<sup>2</sup>*

Yates	T[°C]	t[min]
1	-	-
a	+	-
b	-	+
ab	+	+

Fuente: Elaboración propia

### 3.11. AJUSTE AL MODELO DE PELEG

Se replicó nuevamente la construcción de isothermas para evaluar la humedad, sin embargo, en este punto se consideró corregir con el valor de la humedad inicial del higo deshidratado, obteniendo valores de humedad real en el alimento, se realizó un ajuste de los mismos, de acuerdo al modelo de Peleg, descrito en la ecuación (3).

$$X_{wt} = X_0 + \left[ \frac{t}{k_1 + k_2 * t} \right] \quad Ec. (3)$$

Donde:

$X_{wt}$  Humedad

$X_0$ : Humedad inicial

$t$ : tiempo [min]

$k_1$ : constante de velocidad de Peleg

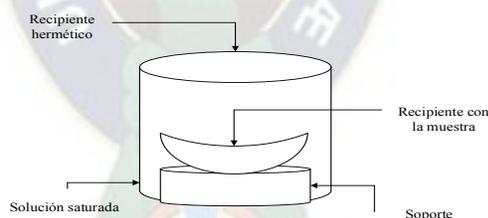
$k_2$ : constante de capacidad de Peleg

Este ajuste se realizará con el uso del programa Google Colab, mediante un código de programación adjunto en el ANEXO B.

### 3.12. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA

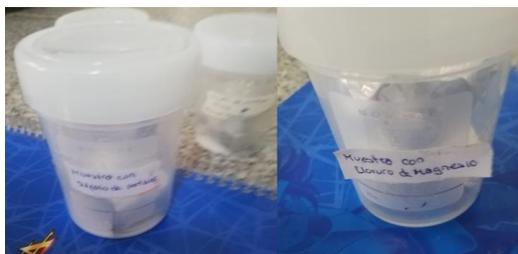
Se determinó la actividad de agua en el higo rehidratado (con las variables óptimas de temperatura, tiempo y relación M:V) que se emplea para la Elaboración del producto. Para ello se realizó las pruebas en base al método estático. Este hace uso de cámaras herméticas, con características similares a los expuestos en la Figura N°18- *Diseño del recipiente para determinación de actividad de agua*, se empleó frascos plásticos de tapa rosca, se adaptaron para dar las condiciones que se requieren, véase Figura N°19. Posteriormente el procedimiento seguido se describe en la Figura N°20 diagrama para la determinación de actividad del agua.

*Figura N° 18 Diseño del recipiente para determinación de actividad de agua*



Fuente: Elaboración propia

*Figura N° 19 Cámaras herméticas empleadas*



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 20 Diagrama para determinación de actividad de agua



Fuente: Elaboración propia

Se trabajó con soluciones saturadas de Cloruro de Magnesio y Sulfato de Potasio, esto debido a la gran diferencia entre sus actividades de agua (datos que se extraen de la Tabla N°3).

### 3.13. VIDA ÚTIL

Una vez determinada las variables óptimas para el proceso de rehidratación (temperatura, tiempo y relación M:V), se realiza la producción de un lote del producto final. El cual está elaborado de acuerdo a la Figura N° 16 *Diagrama para la elaboración del producto*; de este procedimiento se obtiene al higo rehidratado relleno de dulce de leche, bañado con cobertura de chocolate.

Para la determinación de la vida útil del producto se debe tener en cuenta tanto aspectos organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos. Por ello se realizaron análisis en estos aspectos, de manera simultánea de acuerdo a las siguientes etapas:

- I. Evaluación inicial a los 15 días de la Elaboración del producto final
- II. Segunda Evaluación a los 30 días de la Elaboración del producto final
- III. Tercera evaluación dentro de 50 días de la Elaboración del producto final
- IV. Cuarta evaluación dentro de 70 días de la Elaboración del producto final

Se toma en cuenta los intervalos de tiempo mencionados, ya que se tiene como referencia el tiempo de vida útil de un producto correspondiente a la misma línea de bañados dentro de “Cóndor SRL”, el cual lleva por nombre “Beso de negro”, mismo que tiene una duración de 45 días.

La culminación del estudio de vida útil pudo ser previo o posterior al plazo marcado, de acuerdo al resultado de cada etapa, pues si en un tiempo menor se determina que el producto ya no es agradable al consumidor, establece un límite de aceptación y por ello un punto final sobre la duración del producto.

#### 3.13.1. EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA

El análisis sensorial es una disciplina científica que se utiliza para evaluar, medir, analizar e interpretar las características sensoriales de un alimento, como su color, olor, sabor y textura, a través de los sentidos humanos. Aunque es un análisis subjetivo, ya que involucra la percepción del ser humano, es crucial para determinar la aceptación o rechazo de un producto.

Un alimento que no sea agradable al paladar, la vista o el olfato, no será bien recibido, incluso si es nutricionalmente completo y seguro desde el punto de vista microbiológico (Méndez, 2020).

Se tomó en cuenta aquellos aspectos básicos en la evaluación de un producto en base a chocolate:

- I. Aspecto físico: brillo/ opacidad
- II. Olor
- III. Sabor
- IV. Textura

Con una escala de evaluación del 1 al 5, en donde 5 la valoración más alta y 1 la más baja, se encuestó a un panel de 12 personas.

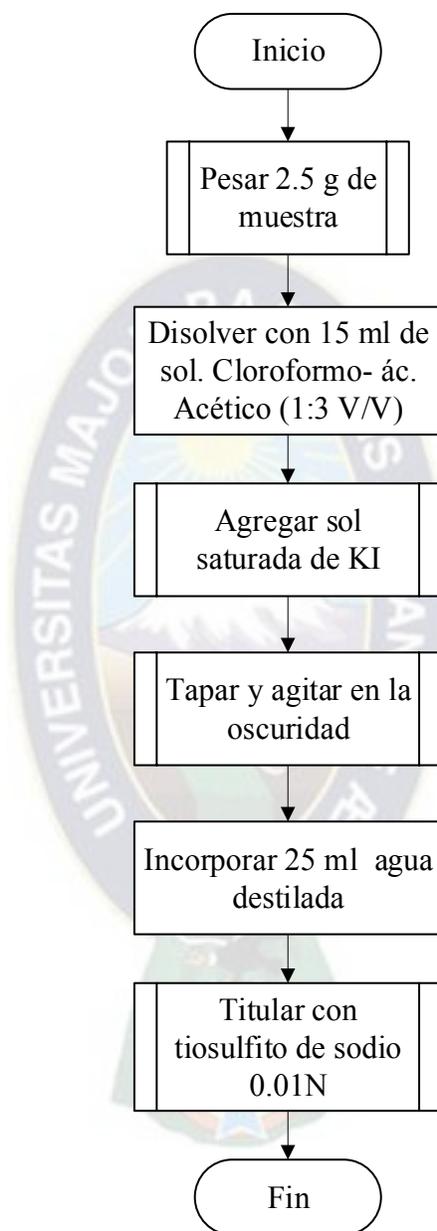
El modelo de encuesta empleado se muestra en el ANEXO C.

### **3.13.2. DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE PERÓXIDOS**

En un producto que contiene una apreciable cantidad de fracción lipídica, se debe evaluar la oxidación de la misma. Por ello se realizó ensayos de índice de peróxido para establecer un tiempo aproximado en el cual la degradación de esta fracción comienza. El procedimiento que se siguió es el sugerido por Méndez (2020), véase Figura N°21 – *Diagrama de flujo, determinación de índice de peróxidos.*

La evaluación del índice de peróxidos se realizó en el dulce de leche que ha estado en contacto con una fruta rehidratada, fue esencial debido a la interacción potencial entre los componentes de ambos productos. Los peróxidos son compuestos químicos que indican la presencia de oxidación y deterioro en los alimentos. Dado que el higo rehidratado contiene agua y compuestos orgánicos, pueden influir en la composición química del dulce de leche con el tiempo, aumentando la susceptibilidad a la oxidación. Esta interacción podría alterar el sabor, color y calidad del dulce de leche, afectando negativamente la experiencia del consumidor y su seguridad alimentaria.

Figura N° 21 Diagrama de flujo determinación de índice de peróxidos



Fuente: Elaboración propia

El mismo procedimiento se realizó con una muestra en blanco, para posteriormente aplicar la ecuación (4) y determinar el índice de peróxidos.

$$\text{Valor peroxido} \frac{Eq}{1000g} = \frac{(V_m - V_b) * N * 1000}{\text{peso de la muestra}} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

$V_m$ : es el volumen gastado en la titulación de la muestra

$V_b$ : volumen gastado en la prueba en blanco

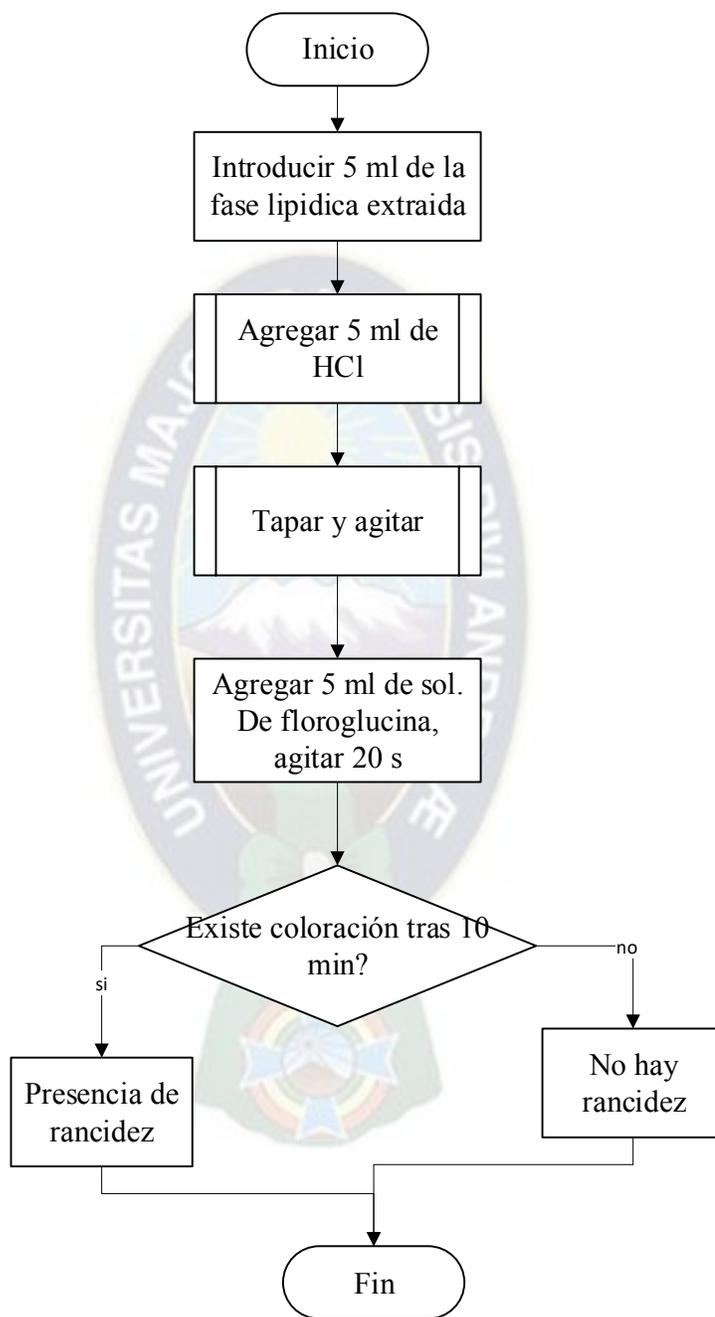
### 3.13.3. ENSAYO DE RANCIDEZ

El ensayo de Kreis es una técnica analítica utilizada en la industria de alimentos para determinar la rancidez en aceites y grasas. Este ensayo se basa en el principio de la reacción de la flugoricina con los productos de oxidación de los lípidos.

La flugoricina es una sustancia química que reacciona específicamente con los compuestos generados durante la oxidación de los lípidos, produciendo un color naranja. Al medir la intensidad de este color naranja, es posible cuantificar la cantidad de compuestos oxidados presentes en una muestra de aceite o grasa. Esto proporciona una medida precisa de la rancidez, que es fundamental para garantizar la calidad y la seguridad de los productos alimenticios que contienen aceites y grasas, así como para determinar la vida útil de los productos y evitar la degradación de sus propiedades sensoriales y nutricionales (Méndez, 2020)

Se evaluó la rancidez empleando un método más rápido y sencillo, Ensayo de Kreiss, mismo que sigue la secuencia descrita en la Figura N° 22.

Figura N° 22 Diagrama ensayo de Kreiss



Fuente: Elaboración propia

### 3.13.4. DETERMINACIÓN DE MOHOS Y LEVADURAS

La evaluación se realiza periódicamente en un lote de producción del producto final (elaborado con las variables óptimas de rehidratación, temperatura, tiempo y relación M: V).

Se realizó el recuento de mohos y levaduras en muestras del producto final, como indicador respecto a la vida útil del producto.

Se determinó evaluar únicamente la presencia de mohos y levaduras, debido a ser los microorganismos a los cuales es más susceptible el higo. Como se expuso en la sección 2.1.3. Plagas, enfermedades y fisiopatías; la mayoría de los atacantes al higo, tanto en su etapa de cultivo como cosecha son los hongos y levaduras, pues estos ocasionan su putrefacción o en el peor de los casos impiden completar el desarrollo del fruto (Melgarejo, 1999).

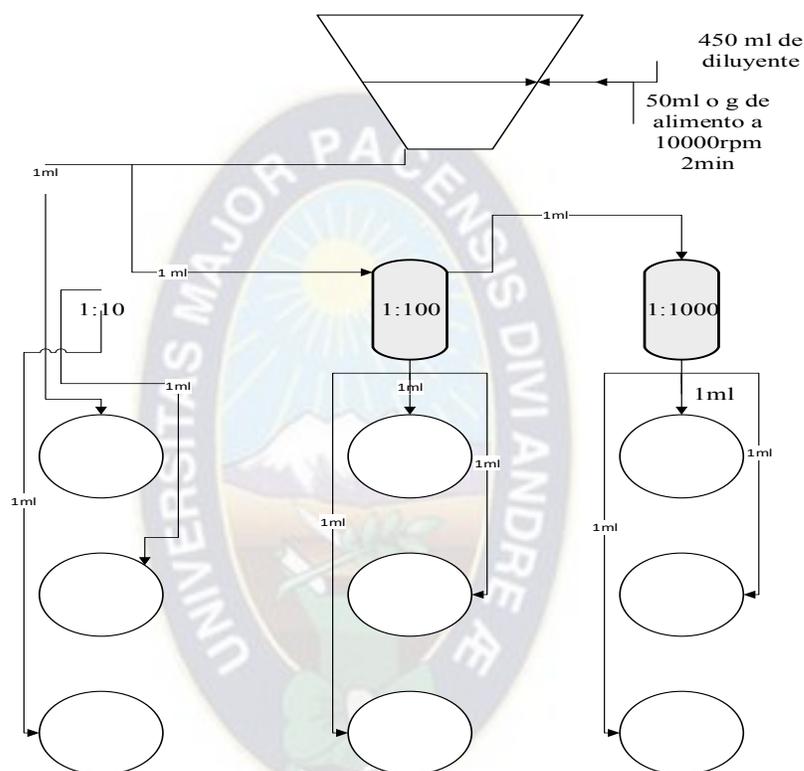
Los mohos y levaduras son organismos comunes en el ambiente y pueden crecer en una amplia variedad de condiciones, incluyendo en productos alimenticios. Su presencia y desarrollo en el alimento pueden provocar cambios indeseables en su apariencia, sabor, textura y calidad nutricional, lo que disminuye su aceptabilidad y seguridad para el consumo (Alapont & Soriano, 2020).

La única normativa vigente en Bolivia para evaluar la presencia de mohos y levaduras en alimentos, es la NB 32006 Ensayos microbiológicos- Recuento de mohos y levaduras; esta engloba de manera general a los mohos filamentosos, mismos que en el higo que ya pasó por el proceso de rehidratación, son los factores de mayor riesgo de contaminación debido a su reproducción por esporas. Por ellos se realiza la evaluación del aspecto microbiológico empleando la norma NB 32006.

El principio del método se basa en la siembra de una suspensión obtenida de una muestra con el diluyente y sus diluciones decimales, en un medio de cultivo selectivo, incubados a una temperatura entre 22°C y 25 °C, por un tiempo de 72 horas para levaduras y 120 horas para mohos. En la figura N°23 *Esquema de análisis de mohos y levaduras*, se describe brevemente el procedimiento en la preparación de las diluciones.

Realizando el recuento de mohos y levaduras en diferentes periodos de almacenamiento del alimento, se pudo determinar su concentración y evaluar su crecimiento a lo largo del tiempo, que se interpretó como un indicador para establecer un periodo de vida útil seguro y óptimo para el producto antes de que su calidad se vea comprometida.

Figura N° 23 Esquema de análisis de mohos y levaduras



Fuente: Adaptado de NB32006

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1.DETERMINACIÓN DE HUMEDAD INICIAL – HIGO DESHIDRATADO

Los resultados de la determinación de humedad inicial para el higo deshidratado están descritos en la Tabla N°14, los cuales se obtuvieron de promediar los resultados de las repeticiones efectuadas.

*Tabla N° 14 Resultados de la humedad inicial de higos deshidratados*

Codificación	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$X_{mp\ i}$	$\bar{X}_{mp\ i}$
H-A1	13.16	17.2207	16.0059	29.9%	27.9%
H-A2	12.7722	16.6427	15.6411	25.9%	
H-B1	16.0669	19.0341	18.0416	33.4%	34.0%
H-B2	14.9111	17.8892	16.8619	34.5%	
H-C1	14.9921	17.3448	16.4266	39.0%	39.0%
H-C2	16.5051	19.2836	18.2002	39.0%	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES

Se realizaron pruebas preliminares para obtener datos iniciales sobre la temperatura, relación M:V y tiempo requeridos para rehidratar adecuadamente los higos deshidratados (Tabla N°15), con el propósito de optimizar el proceso de rehidratación y garantizar la calidad del producto final. Estas pruebas permitieron determinar las condiciones óptimas de rehidratación que aseguren una adecuada absorción de agua por parte de los higos, sin afectar negativamente su textura. Al obtener datos iniciales sobre la rehidratación, se pudo ajustar los parámetros del proceso, evitando tiempos de rehidratación excesivos que podrían ocasionar

una textura indeseada en los higos. Además, estas pruebas permitieron identificar posibles problemas o limitaciones en el proceso de rehidratación, lo que facilitó la toma de decisiones informadas para mejorar el procedimiento y obtener un producto final de alta calidad y aceptación.

Se evaluó características como, la adherencia, si se redujo o no la maleabilidad del higo en la operación de inyección de relleno y otras características particulares de cada experiencia (Tabla N°16- resultados cualitativos pruebas preliminares).

*Tabla N° 15 Resultados pruebas preliminares de temperatura, tiempo y M:V*

<b>Código</b>	<b>mi [g]</b>	<b>mf1[g]</b>	<b>X</b>	<b>mf [g]</b>	<b>X reposo</b>	<b>T[C]</b>	<b>t[min]</b>	<b>M:V</b>
130323-A	150	228.5	34.35%	182	17.58%	87	30	1:3
130323-B	145	210.5	31.12%	186.7	22.34%	87	30	1:4
130323-C	150	230.2	34.84%	182	17.58%	87	30	1:4
280323-A	125	226.5	44.81%	206	39.32%	65	1320	1:2
280323-B	128	225.4	43.21%	206	37.86%	65	1320	1:2
280323-C	130	228.3	43.06%	206	36.89%	65	1320	1:2
090423-A	122.5	203.6	39.83%	174.1	29.64%	87	30	1:3
090423-B	125	203.6	38.61%	174.1	28.20%	87	30	1:3
090423-C	126.4	203.6	37.92%	174.1	27.40%	87	30	1:3
120423-A	109.4	158.9	31.15%	148.5	26.33%	70	45	1:3
120423-B	110.6	160.2	30.96%	149	25.77%	70	45	1:3
120423-C	111.3	160.1	30.48%	147.8	24.70%	70	45	1:3

Fuente: Elaboración propia

*Tabla N° 16 Resultados cualitativos pruebas preliminares*

<b>Código</b>	<b>Observaciones</b>
130323-A	Adecuados para bañado, poco duros. Se identifica que se requiere una etapa de reposo tras la rehidratación de 8 a 9 hrs. Paredes del higo débil.
130323-B	Adecuados para bañado, poco duros. Se identifica que se requiere una etapa de reposo tras la rehidratación de 7 a 9hrs
130323-C	Adecuados para bañado, poco duros. Se identifica que se requiere una etapa de reposo tras la rehidratación de 8 a 9hrs
280323-A	Presenta exceso de humedad, aparición de moho tras 96 hrs de reposo. Características inadecuadas para el consumo. Pared del higo débil. No apto para inyección de relleno. No cubierto por completo.
280323-B	Presenta exceso de humedad, aparición de moho tras 96 hrs de reposo. No apto para el relleno. Cantidad de agua no cubre por completo.
280323-C	Presenta exceso de humedad, no apto para relleno. Características inadecuadas para el consumo. No cubierto por completo.
090423-A	Temperatura no constante. Tiempo de reposo aprox. 10 hrs. Pared del higo muy débil, se fractura en la inyección.
090423-B	Temperatura no constante. Tiempo de reposo aprox. 10 hrs
090423-C	Temperatura no constante. Tiempo de reposo aprox. 10 hrs
120423-A	Inicio de pruebas con sistema de control de temperatura. Tiempo de reposo aprox. 8hrs. Pared débil respecto a B Y C.
120423-B	Inicio de pruebas con sistema de control de temperatura. Tiempo de reposo aprox. 8hrs.

---

120423-C Inicio de pruebas con sistema de control de temperatura. Tiempo de reposo aprox. 8hrs.

---

Fuente: Elaboración propia

Con los resultados y el análisis cualitativo, se decidió que los valores alto y bajo para los parámetros de Temperatura. Tiempo y relación masa: volumen, correspondieran a aquellos valores aleatorios con los cuales se obtuvo mejores características y reseñas tras la Elaboración del producto, dando como resultado la Tabla N°17 niveles bajo y alto para T,t y M:V. Con estos valores es que realizó el planteamiento de la matriz de diseño de experimentos de la TablaN°18.

*Tabla N° 17 Niveles bajo y alto para T, t y M:V*

<b>NIVEL</b>	<b>TEMPERATURA [ C]</b>	<b>TIEMPO [min]</b>	<b>RELACIÓN</b>
Bajo	70	30	1:3
Alto	87	45	1:4

Fuente: Elaboración propia

Además, debido a las características que se notaron de cada tipo de higo, se decidió que el adecuado para la Elaboración del producto es el higo H-B (con característica de una humedad del 34%). A partir de este punto se trabajó exclusivamente con el higo deshidratado de estas características.

### **4.3.RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL 2<sup>3</sup>**

#### **4.3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL 2<sup>3</sup>**

Los resultados obtenidos en la Tabla N°17 proporcionaron la información necesaria para plantear la matriz de experimentos que corresponde al diseño factorial 2<sup>3</sup> (Tabla N° 18- matriz experimental 2<sup>3</sup>). Este diseño se introdujo en el software Minitab ® con el objetivo de analizar de manera sistemática y eficiente el efecto de tres factores en dos niveles cada uno sobre la variable de interés. La utilización del software permitió llevar a cabo un análisis estadístico riguroso de los datos, identificando las interacciones entre los factores y evaluando la significancia de cada uno de ellos en relación con la respuesta.

*Tabla N° 18 Matriz experimental 2<sup>3</sup>*

<b>Yates</b>	<b>T[°C]</b>	<b>t[<i>min</i>]</b>	<b>M:V</b>
1	70	30	1:3
a	87	30	1:3
b	70	45	1:3
ab	87	45	1:3
c	70	30	1:4
ac	87	30	1:4
bc	70	45	1:4
abc	87	45	1:4

Fuente: Elaboración propia

La elección de los valores de temperatura, tiempo y relación masa-volumen para el experimento 2<sup>3</sup>, se basó en los resultados obtenidos de las pruebas preliminares, donde se evaluaron diferentes combinaciones de estas variables. En dichas pruebas, se buscaba determinar las condiciones óptimas para que los higos deshidratados se adaptaran y adquirieran características maleables, necesarias para la operación de inyección del relleno. Se observó que las combinaciones de temperatura, tiempo y relación masa-volumen seleccionadas en el presente estudio resultaron en un menor tiempo de reposo requerido para que los higos alcanzaran la textura deseada, siendo este tiempo entre 7 y 8 horas. Por lo tanto, se optó por utilizar estos valores en el diseño actual, ya que se demostró que proporcionaban el resultado deseado de manera más eficiente y efectiva, lo que permitirá agilizar el proceso de Elaboración del producto final.

En esta etapa se evaluó la humedad, rendimiento (véase Tabla N°19- resultados de humedad y rendimiento de diseño 2<sup>3</sup>) y además las características cualitativas del producto final (Tabla N°20-Evaluación cualitativa del diseño 2<sup>3</sup>).

*Tabla N° 19 Resultados de humedad y rendimiento de diseño 2<sup>3</sup>*

<b>PRIMERA REPLICA</b>	<b>u</b>	<b>m[g]</b>	<b>mf[g]</b>	<b>humedad</b>	<b>T[°C]</b>	<b>t[min]</b>	<b>M:V</b>	<b>rendimiento</b>
abc	12	108.4	152.5	29.82%	87	45	1:4	60.00%
bc	10	93.5	125	25.20%	70	45	1:4	70.00%
ac	10	94.1	123.6	23.87%	87	30	1:4	80.00%
c	10	98.6	119.5	17.49%	70	30	1:4	85.00%
ab	10	86.2	119.8	29.05%	87	45	1:3	60.00%
b	10	92	127.5	27.84%	70	45	1:3	70.00%
a	10	95.9	109.3	12.26%	87	30	1:3	80.00%
1	10	104.9	131.700	20.35%	70	30	1:3	90.00%
<b>SEGUNDA REPLICA</b>	<b>u</b>	<b>m [g]</b>	<b>mf[g]</b>	<b>humedad</b>	<b>T[°C]</b>	<b>t[min]</b>	<b>M:V</b>	
abc	10	103.1	159.1	35.20%	87	45	4	60%
bc	10	93.8	126.5	25.85%	70	45	4	70%
ac	10	90.8	127.4	28.73%	87	30	4	80%
c	10	98.6	122.8	19.71%	70	30	4	80%

ab	10	88.5	114.8	22.91%	87	45	3	60%
b	10	102.4	148.4	31.00%	70	45	3	70%
a	10	108.1	138.7	22.06%	87	30	3	80%
1	10	104.9	140.6	25.39%	70	30	3	90%

Fuente: Elaboración propia

*Tabla N° 20 Evaluación cualitativa del diseño 2<sup>3</sup>*

<b>PRIMERA REPLICA</b>	<b>T[°C]</b>	<b>t[min]</b>	<b>M:V</b>	<b>Observaciones</b>
abc	87	45	1:4	Higos con ligero exceso de humedad, textura blanda. Adecuados para bañado, se presenta ligero derrame.
bc	70	45	1:4	Textura blanda, adecuados para bañado
ac	87	30	1:4	Textura blanda, adecuados para bañado
c	70	30	1:4	textura semi dura, adecuados para bañado
ab	87	45	1:3	Higos con ligero exceso de humedad, textura blanda. Adecuados para bañado, se presenta ligero derrame.
b	70	45	1:3	Higos con ligero exceso de humedad, textura blanda. Adecuados para bañado, se presenta ligero derrame.
a	87	30	1:3	textura semi dura, adecuados para bañado
1	70	30	1:3	Textura blanda, adecuados para bañado

<b>SEGUNDA REPLICA</b>	<b>T[°C]</b>	<b>t[min]</b>	<b>M:V</b>	<b>Observaciones</b>
abc	87	45	4	Higos con exceso de humedad, adecuados para el bañado pero con derrames
bc	70	45	4	Textura blanda, adecuados para bañado
ac	87	30	4	Higos con ligero exceso de humedad, textura blanda. Adecuados para bañado, se presenta ligero derrame.
c	70	30	4	Textura blanda, adecuados para bañado, sin derrames, fácil manipulación.
ab	87	45	3	Textura blanda, adecuados para bañado
b	70	45	3	Exceso de humedad, demasiado frágiles, apto para bañado tras 12hrs de reposo
a	87	30	3	Textura blanda, adecuado para bañado.
1	70	30	3	Textura blanda, adecuados para el bañado.

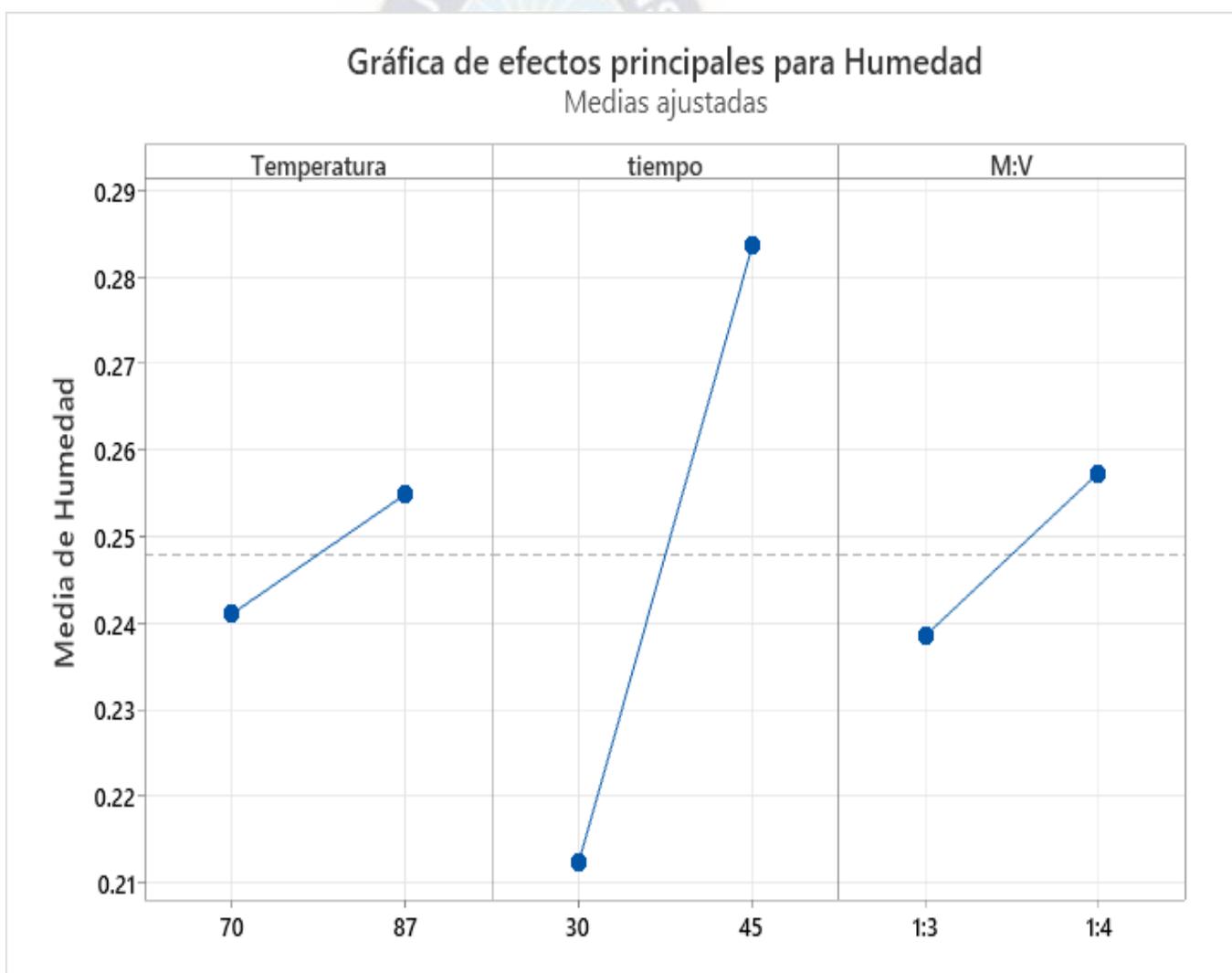
Fuente: Elaboración propia

Los datos presentados en la Tabla N° 19- Resultados de humedad y rendimiento de diseño 2<sup>3</sup>, fueron ingresados en el software Minitab para llevar a cabo el análisis y evaluar el efecto de los factores mediante el uso del diseño factorial 2<sup>3</sup>. Esta metodología permitió estudiar la influencia conjunta de tres variables independientes sobre la variable respuesta del proceso. En este caso se tomaron como variables respuesta a dos parámetros: humedad y rendimiento.

### 4.3.2. EFECTOS PARA LA HUMEDAD Y RENDIMIENTO

Una vez procesados los datos, se generaron las gráficas N°1 y N°2, se realizaron análisis estadísticos para visualizar y comprender la relación entre los factores y la respuesta. Estas gráficas proporcionaron una representación clara y concisa de los efectos de las variables, lo que facilitó la interpretación de los resultados y permitió tomar decisiones informadas para mejorar y optimizar el proceso de producción.

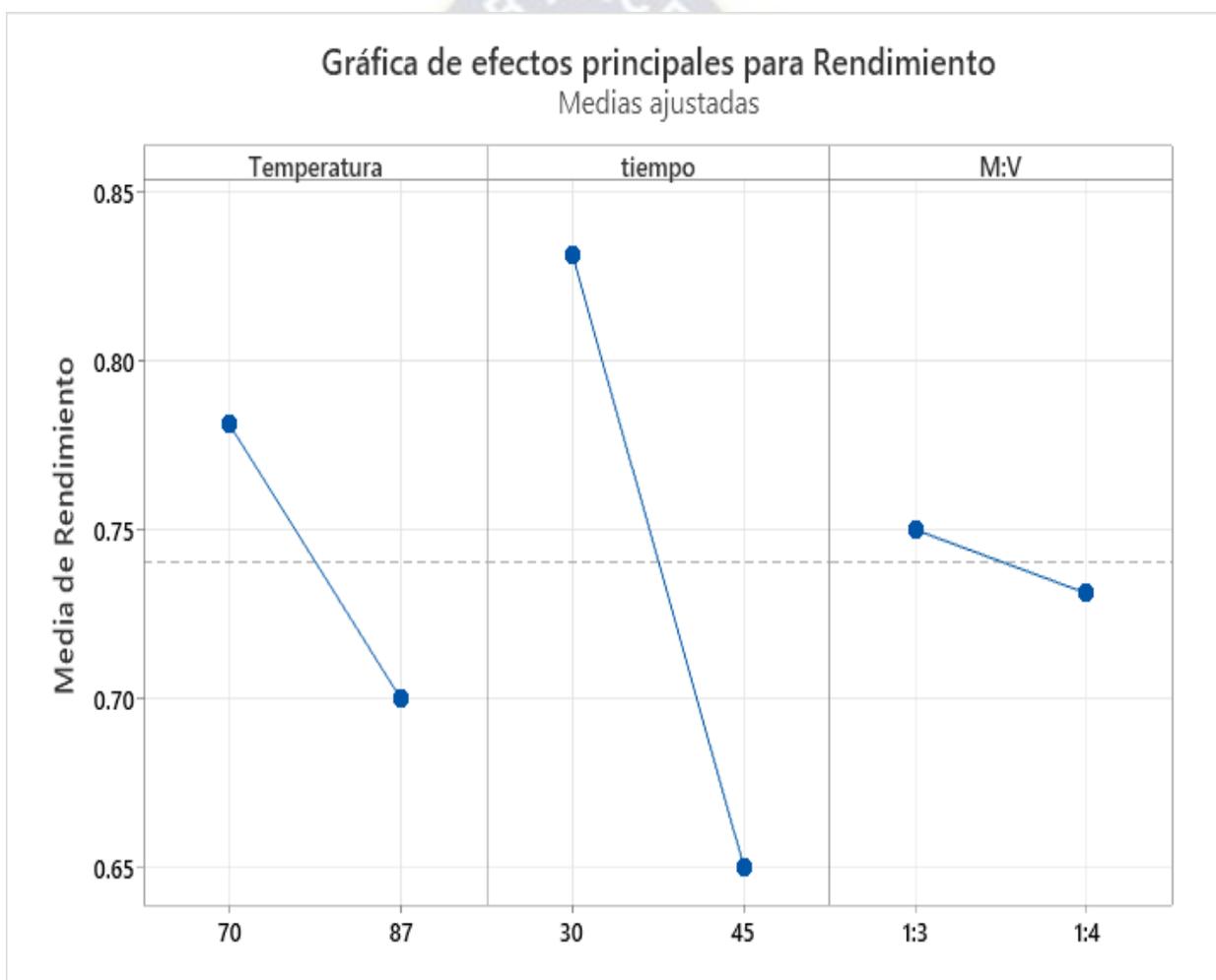
Gráfico N° 1 Efectos principales para la humedad, diseño 2<sup>3</sup>



Fuente: Elaboración propia con Minitab®

El gráfico N°1 muestra los efectos de los factores temperatura, tiempo y M:V en el proceso. Se puede observar que todos los factores presentan una pendiente positiva, lo que indica que un aumento en los niveles de cada factor está asociado con un incremento en la humedad. La pendiente más pronunciada corresponde al factor tiempo, lo que sugiere que cambios en el tiempo de procesamiento tienen un mayor impacto en la humedad del proceso. Por otro lado, los factores temperatura y M:V también presentan pendientes positivas, aunque con características similares entre sí.

*Gráfico N° 2 Efectos principales para el rendimiento, diseño 2<sup>3</sup>*



Fuente: Elaboración propia con Minitab®

El gráfico N°2 ilustra cómo los factores T (temperatura), tiempo y M:V (relación masa-volumen) influyen en el proceso. Se observa que todos los factores tienen una pendiente

negativa, lo que significa que un aumento en los niveles de cada factor se asocia con una disminución en el rendimiento. La mayor pendiente corresponde al tiempo, indicando que incrementar el tiempo de procesamiento conlleva una mayor reducción en el rendimiento. La temperatura también muestra una pendiente negativa, aunque menos pronunciada que el tiempo, lo que implica que un aumento en la temperatura también contribuye a disminuir el rendimiento, pero en menor medida.

Por último, el factor M: V tiene la pendiente negativa más pequeña, lo que sugiere que los cambios en la relación masa-volumen tienen un efecto menos significativo.

### 4.3.3. ANÁLISIS DE VARIANZA

Con el programa Minitab® se realizó un análisis de varianza, tomando como respuesta a la humedad (tabla N°21 – análisis de varianza para la humedad diseño 2<sup>3</sup>) y al rendimiento (tabla N°22- análisis de varianza para el rendimiento 2<sup>3</sup>).

*Tabla N° 21 Análisis de varianza para la humedad- diseño 2<sup>3</sup>*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>
		<b>Ajust.</b>	<b>Ajust.</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Modelo	7	0.037098	0.005300	3.73	0.042
Lineal	3	0.022487	0.007496	5.28	0.027
Temperatura	1	0.000766	0.000766	0.54	0.484
tiempo	1	0.020313	0.020313	14.32	0.005
M:V	1	0.001408	0.001408	0.99	0.348
Interacciones de 2 términos	3	0.014388	0.004796	3.38	0.075
Temperatura*tiempo	1	0.000060	0.000060	0.04	0.842
Temperatura*M:V	1	0.014203	0.014203	10.01	0.013

tiempo*M:V	1	0.000125	0.000125	0.09	0.774
Interacciones de 3 términos	1	0.000223	0.000223	0.16	0.702
Temperatura*tiempo*M:V	1	0.000223	0.000223	0.16	0.702
Error	8	0.011352	0.001419		
Total	15	0.048450			

Fuente: Elaboración propia con Minitab®

El análisis de varianza indica que el modelo tiene una influencia significativa en la humedad del proceso, ya que el valor p (0.042) es menor que el nivel de significancia establecido. Además, la contribución más importante proviene de los efectos lineales, donde el tiempo ( $p = 0.005$ ) y la interacción entre la temperatura y M:V ( $p = 0.013$ ) muestran un impacto significativo.

Por otro lado, la temperatura, la relación masa-volumen y las interacciones de dos y tres términos no tienen una influencia estadísticamente significativa en la humedad (todos los valores  $p > 0.05$ ).

*Tabla N° 22 Análisis de varianza para el rendimiento – diseño 2<sup>3</sup>*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>MC</b>	<b>Valor</b>	<b>Valor</b>
		<b>Ajust.</b>	<b>Ajust.</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
Modelo	7	0.164844	0.023549	150.71	0.000
Lineal	3	0.159219	0.053073	339.67	0.000
Temperatura	1	0.026406	0.026406	169.00	0.000
tiempo	1	0.131406	0.131406	841.00	0.000
M:V	1	0.001406	0.001406	9.00	0.017

Interacciones de 2 términos	3	0.004219	0.001406	9.00	0.006
Temperatura*tiempo	1	0.001406	0.001406	9.00	0.017
Temperatura*M:V	1	0.001406	0.001406	9.00	0.017
tiempo*M:V	1	0.001406	0.001406	9.00	0.017
Interacciones de 3 términos	1	0.001406	0.001406	9.00	0.017
Temperatura*tiempo*M:V	1	0.001406	0.001406	9.00	0.017
Error	8	0.001250	0.000156		
Total	15	0.166094			

Fuente: Elaboración propia con Minitab®

El análisis de varianza realizado en el diseño factorial  $2^3$  con Minitab®, proporcionó información sobre los efectos de los factores en el proceso. Los resultados, véase Tabla N°22, muestran que el modelo es altamente significativo, lo que indica que al menos uno de los factores tiene un efecto significativo en la variable respuesta. Además, las variables de temperatura y tiempo tienen efectos altamente significativos en el proceso, ya que sus valores p son prácticamente cero.

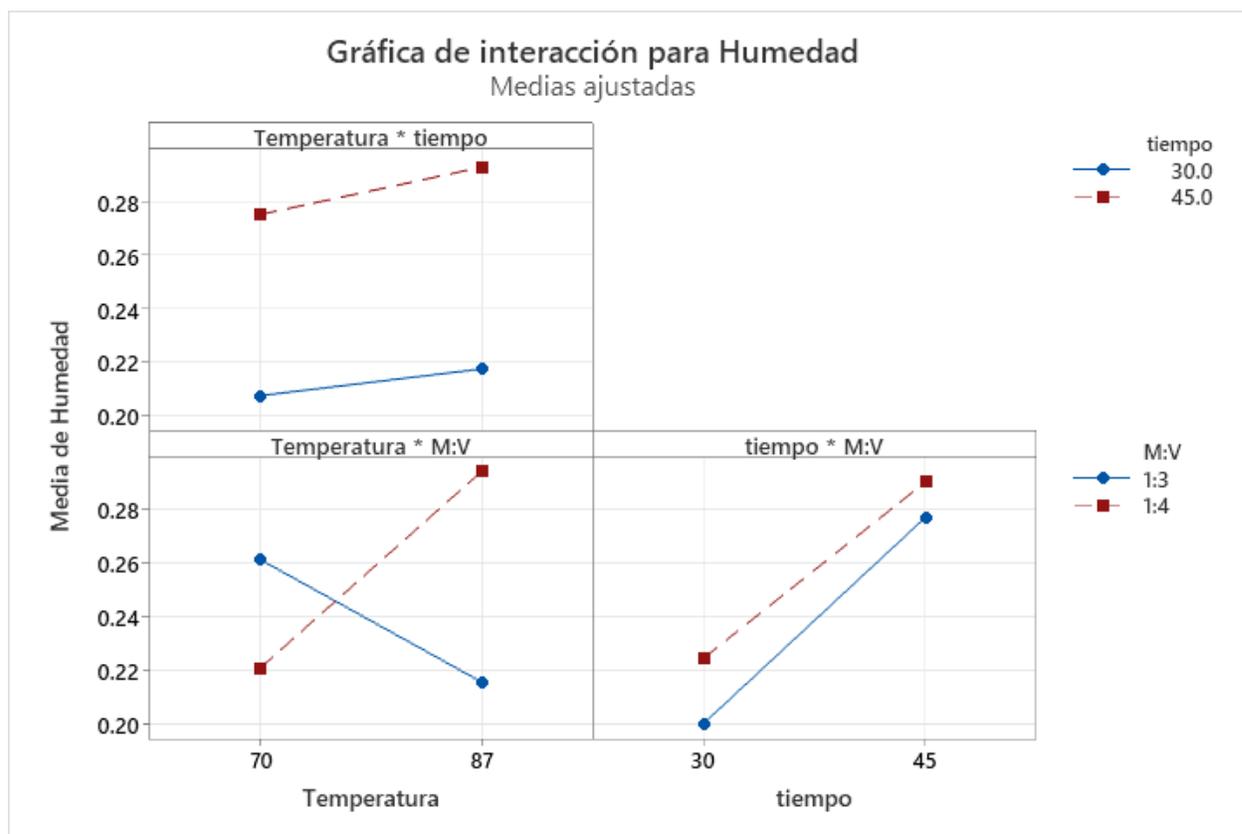
Esto sugiere que tanto la temperatura como el tiempo son factores críticos que influyen en el resultado del proceso. Por otro lado, la relación masa-volumen (M:V) también muestra un efecto significativo, aunque con un valor p ligeramente mayor. Las interacciones de 2 y 3 términos también son significativas, lo que significa que la combinación de algunos factores puede tener un impacto adicional en la respuesta.

#### 4.3.4. INTERACCIÓN DE FACTORES

El análisis de las gráficas de interacción en un diseño factorial fue esencial para comprender cómo los factores interactuaron e impactaron las variables de respuesta del proceso. Estas gráficas permitieron identificar patrones y tendencias que nos ayudaron a

determinar si los efectos de los factores fueron independientes o si existió una interacción significativa entre ellos.

Gráfico N° 3 Interacción de factores para la humedad- diseño 2<sup>3</sup>



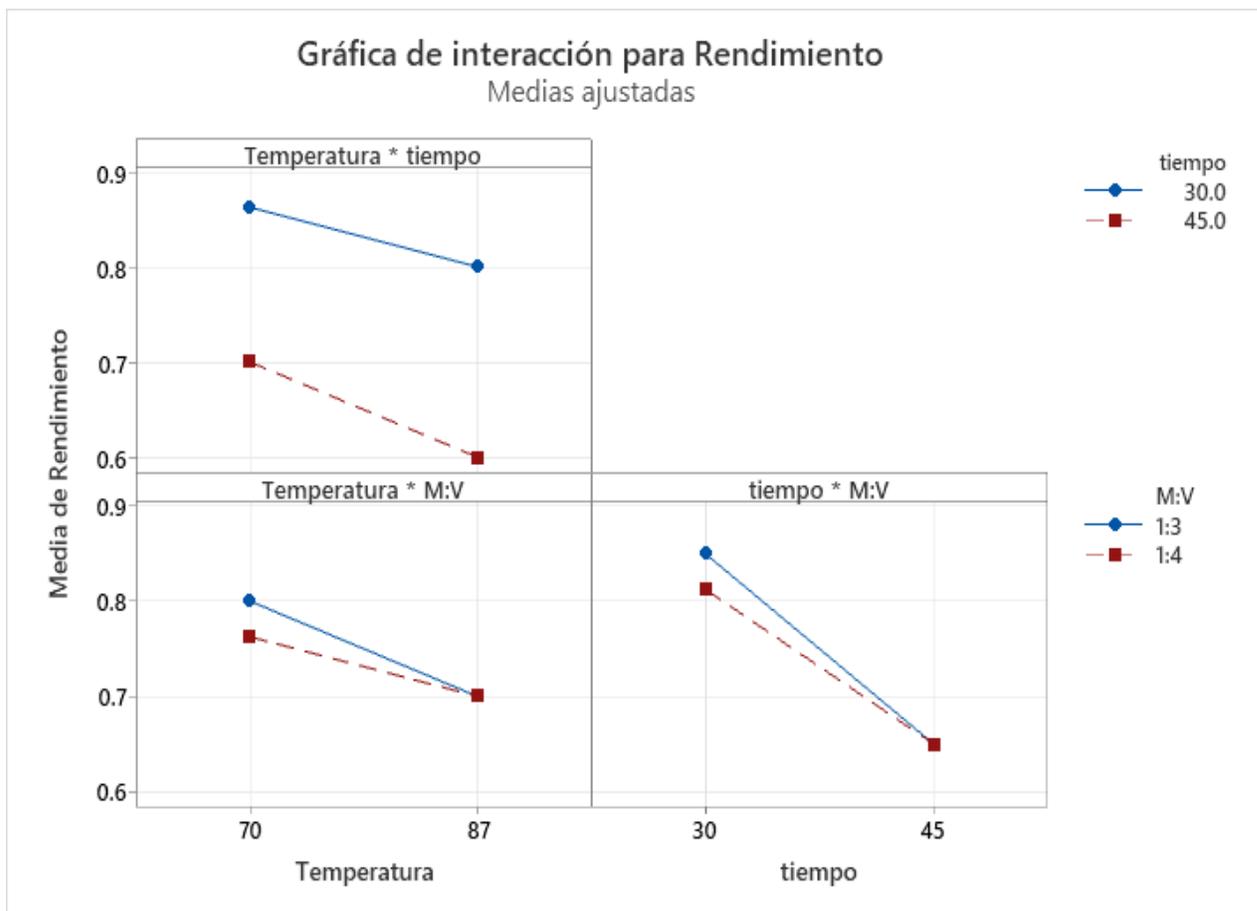
Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

El Gráfico N°3 muestra la interacción entre los factores temperatura (T), tiempo y relación masa-volumen (M:V) en el proceso. Se observa que las líneas que representan la interacción entre T y tiempo, así como tiempo y M:V, son paralelas o apenas se cruzan, lo que sugiere que no hay una interacción significativa entre estos pares de factores. Esto indica que el efecto de la temperatura en la variable de respuesta es independiente del tiempo, y el efecto del tiempo es independiente de la relación masa-volumen.

Por otro lado, se nota que las líneas que representan la interacción entre T y M:V se cruzan, indicando una interacción significativa entre estos dos factores. Esto implica que el

efecto de la temperatura en la variable de respuesta depende de los niveles de la relación masa-volumen, y viceversa.

Gráfico N° 4 Interacción de factores para rendimiento- diseño 2<sup>3</sup>



Fuente: Elaboración propia con Minitab®

El Gráfico N°4 representa la interacción de factores entre tiempo, temperatura y relación masa-volumen (M:V) en el proceso, con la variable de respuesta siendo el rendimiento. En este gráfico, se observa que las líneas que representan la interacción entre temperatura y tiempo son paralelas, lo que sugiere que no existe una interacción significativa entre estos dos factores. Sin embargo, tanto la interacción entre temperatura y M:V, así como entre tiempo y M:V, presentan un leve cruce, indicando que sí existe una interacción significativa entre estos pares de factores.

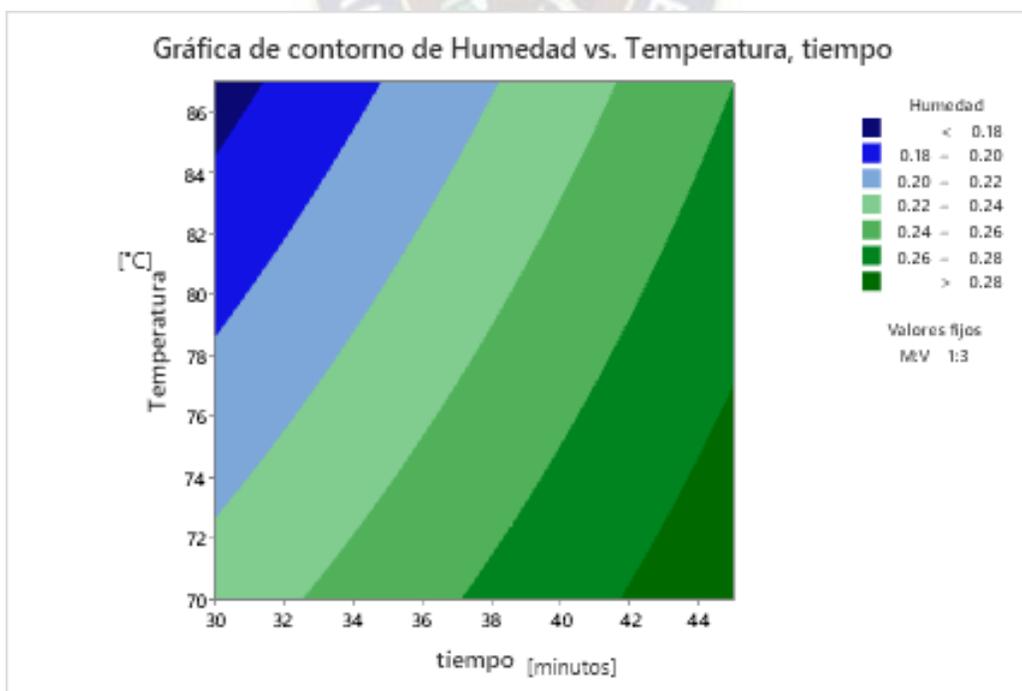
### 4.3.5. GRÁFICAS DE CONTORNO

Se construyeron gráficas de contorno utilizando el programa Minitab®, debido a que estas, son altamente aplicables en la producción de higos rellenos. Las gráficas de contorno proporcionan una valiosa herramienta para visualizar y analizar cómo varía el rendimiento y la humedad del proceso en función de las variables de interés, como la temperatura, el tiempo y la relación masa-volumen (M:V). Al trazar líneas de contorno que conectan puntos con el mismo rendimiento en un plano bidimensional, se obtienen aproximaciones de los rangos de trabajo óptimos para cada variable. Esto permite identificar rápidamente las combinaciones de temperatura y tiempo que conducen a los mejores resultados en términos de rendimiento del proceso y características del producto final.

#### 4.3.5.1. GRÁFICAS DE CONTORNO- HUMEDAD

Debido a que se trabajó con dos niveles en cuanto a la relación masa- volumen (M:V), se realizó una gráfica para cada caso, ya que al no ser un parámetro con valor exacto, se asumió como constante.

*Gráfico N° 5 G. de contorno de humedad- M:V (1:3)*

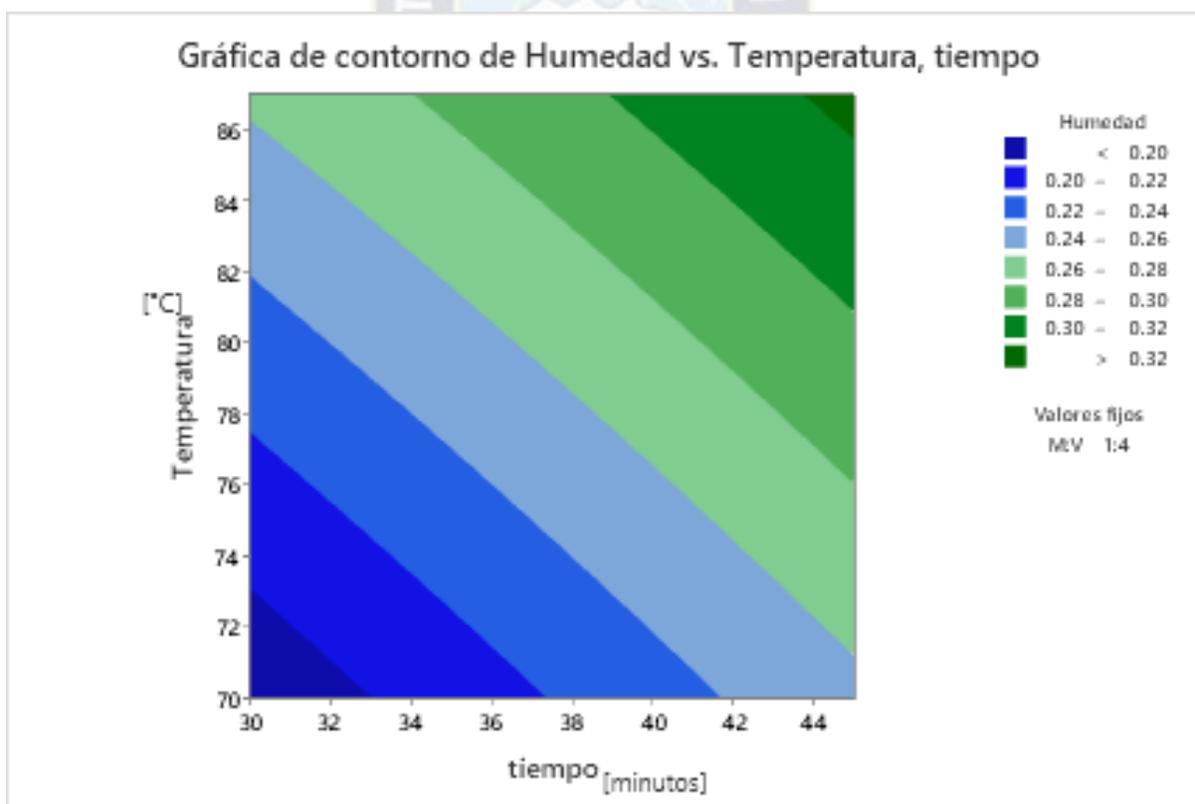


Fuente: Elaboración propia con Minitab®

En el Gráfico N°5 se muestra la gráfica de contorno para la humedad, con una relación M:V de 1:3 en el proceso de producción de higos rellenos. Sin embargo, se observa un comportamiento anormal y poco esperado, ya que a medida que se incrementa la temperatura, no se refleja un aumento correspondiente en la humedad. Esto resulta incongruente con la relación proporcional que se esperaría entre la temperatura, el tiempo y la humedad en el proceso de rehidratación de los higos.

Esta anomalía trae la posibilidad de que existan variables no controladas o factores adicionales que estén influyendo en la humedad de manera no lineal. Es posible que otros parámetros, como la concentración de soluciones, la tasa de evaporación o la permeabilidad del material de empaque, estén interactuando con la temperatura y el tiempo, afectando el comportamiento de la humedad en el proceso.

*Gráfico N° 6 G. de contorno de humedad- M:V (1:4)*



Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

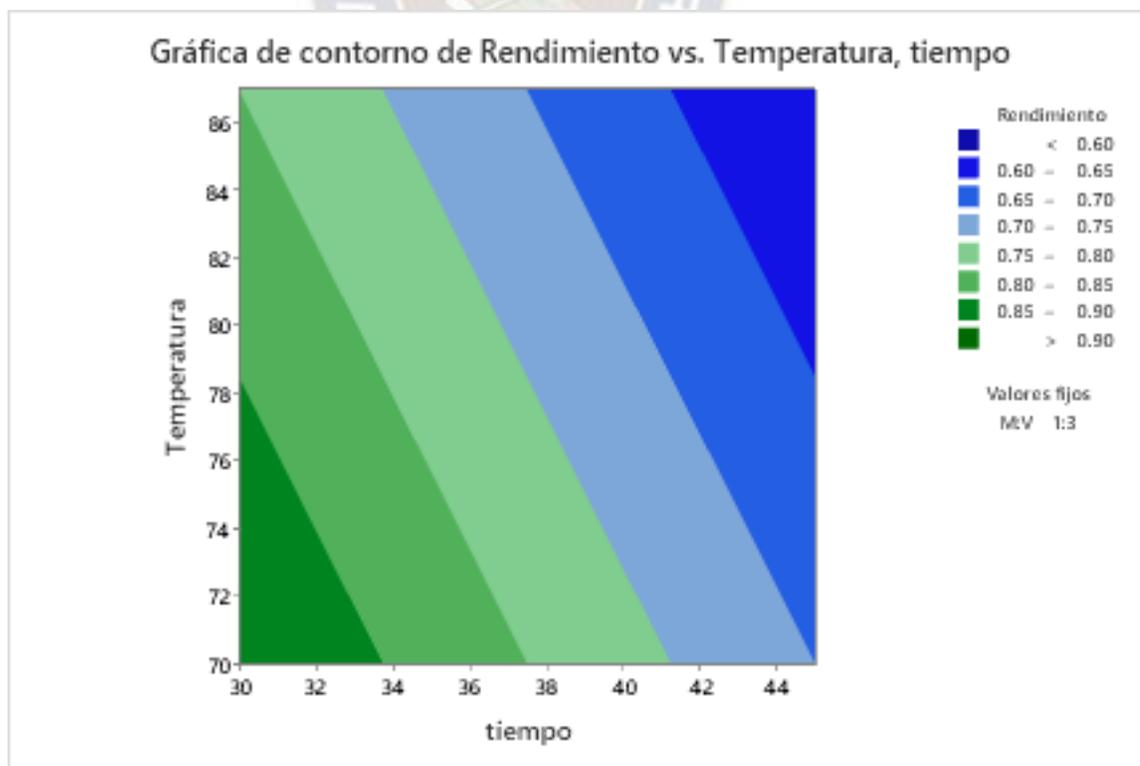
En el Gráfico N°6, que representa la gráfica de contorno de humedad para una relación M:V de 1:4, se puede observar un comportamiento característico en el proceso de rehidratación de higos deshidratados. Se muestra que a medida que se incrementa la temperatura de exposición y se reduce el tiempo en el proceso de rehidratación, la humedad del producto aumenta de manera significativa. Este comportamiento se justifica debido a las propiedades físicas y químicas del higo y del proceso de rehidratación.

Además, al reducir el tiempo de exposición en el proceso de rehidratación, se limita el tiempo que las moléculas de agua tienen para penetrar en las células del higo. Como resultado, el proceso de rehidratación es más rápido y eficiente, lo que se traduce en un incremento en la humedad del producto.

#### 4.3.5.2. GRÁFICAS DE CONTORNO- RENDIMIENTO

Al igual que con las gráficas de contorno de humedad, se trabajó con los dos casos de relación masa- volumen (M: V).

Gráfico N° 7 G. de contorno de rendimiento- M: V (1:3)

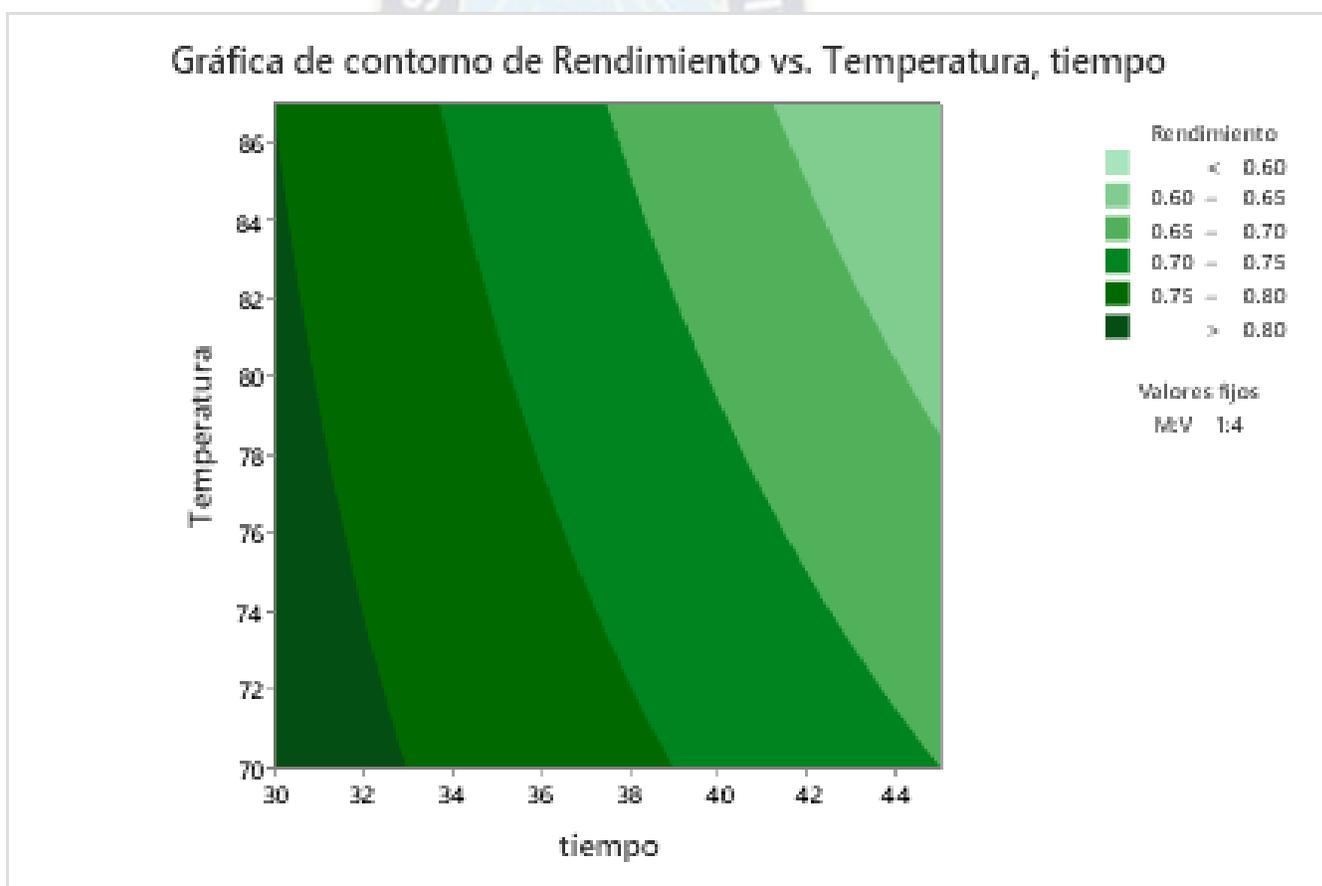


Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

El Gráfico N°7, que representa el gráfico de contorno de rendimiento, se observa un comportamiento interesante con secciones muy marcadas y cortas respecto a los rangos de rendimiento. Este comportamiento puede estar relacionado con la sensibilidad del rendimiento del proceso a pequeñas variaciones en los factores que se están estudiando, como la temperatura, el tiempo.

Las secciones marcadas y cortas en el gráfico indican que cambios relativamente pequeños en los valores de los factores pueden tener un impacto significativo en el rendimiento del proceso. Esto puede ser consecuencia de la cantidad de agua con la que se trabajó, pues si bien los higos se encontraban cubiertos por completo, no existía un amplio margen libre.

Gráfico N° 8 G. de contorno de rendimiento- M: V (1:4)



Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

El Gráfico N°8 muestra un gráfico de contorno del rendimiento en función de la temperatura y el tiempo como variables de entrada. Se observa que las secciones del gráfico son ligeramente amplias en relación a los rangos de rendimiento. Esta característica puede explicarse considerando la naturaleza del proceso y la sensibilidad del rendimiento ante cambios en la temperatura y el tiempo. El rendimiento en ciertos procesos puede estar influenciado por múltiples factores, no limitándose exclusivamente a la temperatura y el tiempo. Otros factores como la relación masa-volumen (M:V) o condiciones ambientales también pueden ejercer una influencia no lineal sobre el rendimiento. Además, las interacciones entre las variables pueden contribuir a la variabilidad en los resultados.

El rendimiento puede ser una característica complicada y estar sujeto a cambios naturales debido a los materiales utilizados y las condiciones del proceso. Esto puede resultar en secciones más amplias en el gráfico de contorno, donde el rendimiento puede variar dentro de ciertos rangos, aun cuando la temperatura y el tiempo sean similares.

#### 4.3.6. VARIABLES ÓPTIMAS- DISEÑO 2<sup>3</sup>

Los resultados obtenidos de haber aplicado el diseño factorial 2<sup>3</sup>, se analizaron con el programa Minitab ®, con la herramienta de optimización de procesos, del cual se obtuvo la tabla N°23.

*Tabla N° 23 Optimización de respuesta: Rendimiento*

<b>Parámetros</b>						
<b>Respuesta</b>	<b>Meta</b>	<b>Inferior</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Superior</b>	<b>Ponderación</b>	<b>Importancia</b>
Rendimiento	Máximo	0.6	0.9		1	1
Rangos de variables						
Variable	Valores					
Temperatura	( 70, 87 )					
Tiempo	( 30, 45 )					
M:V	01:04					
Solución						
<b>Solución</b>	<b>Temperatura</b>	<b>tiempo</b>	<b>M:V</b>	<b>Rendimiento Ajuste</b>	<b>Deseabilidad compuesta</b>	
1	70	30	01:04	0.825	0.75	
Predicción de respuesta múltiple						

Variable	Valor de configuración			
Temperatura	70			
tiempo	30			
M:V	01:04			
Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Rendimiento	0.825	0.00884	(0.80462, 0.84538)	(0.78970, 0.86030)

Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

#### 4.4. RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE ISOTERMAS

Con el objetivo de establecer nuevos valores para los niveles de cada factor involucrado, se llevó a cabo la construcción de isotermas con la humedad como respuesta en una de ellas, y en la otra, se analizó el rendimiento.

Con las consideraciones que marcaron en el punto 3.9, se obtuvieron los resultados que se observan en la tabla N°24.

*Tabla N° 24 Resultados de isotermas*

<b>T=87[°C] M:V = 1:4</b>				
	<b>Primera réplica</b>		<b>Segunda réplica</b>	
<b>t[min]</b>	<b>X</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>X</b>	<b>Rendimiento</b>
5	17.5%	25.00%	14.35%	26.67%
10	26.5%	41.67%	22.18%	40.00%
15	31.6%	75.00%	28.87%	73.33%
20	33.3%	50.0%	33.06%	53.33%
25	37.0%	50.00%	35.45%	33.33%

30	37.0%	50.00%	37.17%	26.67%
35	37.0%	50.00%	37.30%	20.00%

**T=70[°C] M:V = 1:4**

t[ <b>min</b> ]	<b>Primera réplica</b>		<b>Segunda réplica</b>	
	<b>X</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>X</b>	<b>Rendimiento</b>
5	9.98%	0.0%	10.76%	0.00%
10	15.88%	0.0%	15.02%	6.67%
15	19.86%	8.3%	19.27%	13.33%
20	25.02%	16.7%	22.27%	13.33%
25	29.36%	41.7%	25.33%	26.67%
30	32.04%	50.0%	27.77%	33.33%
35	32.77%	41.7%	30.62%	40.00%

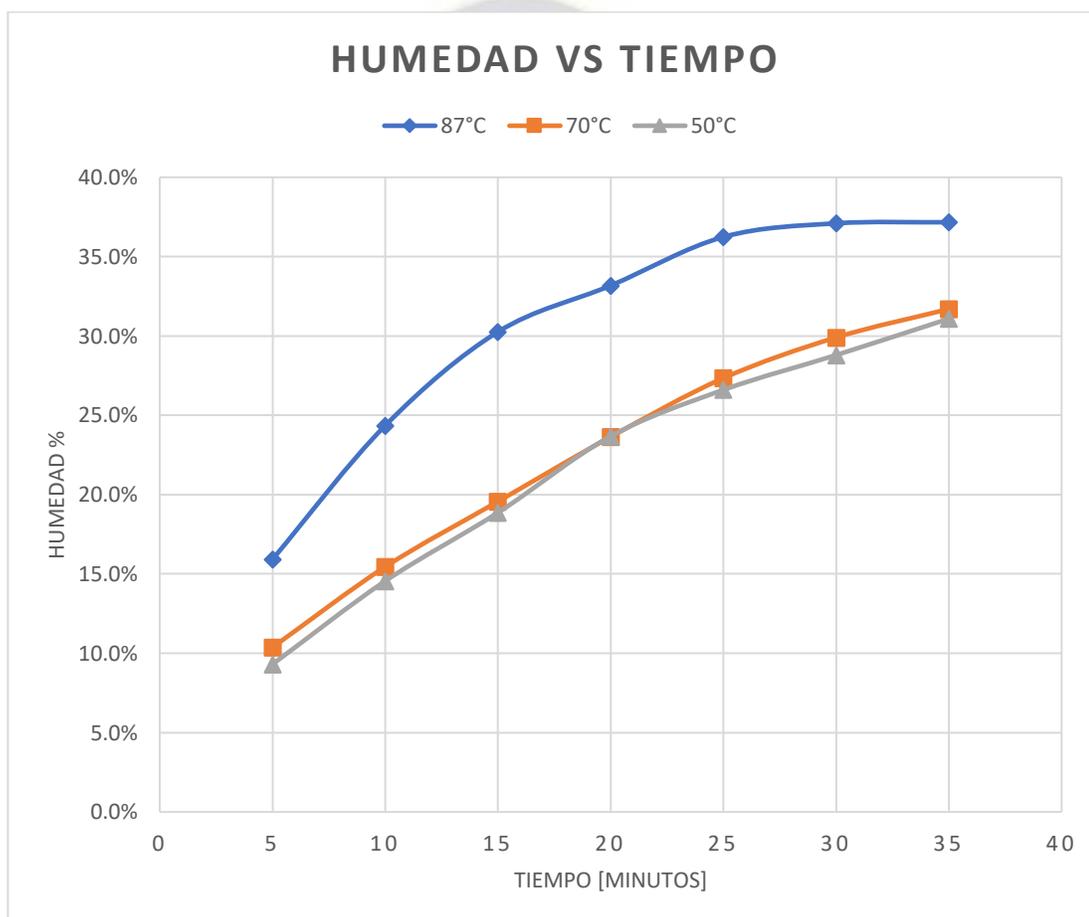
**T=50[°C] M:V = 1:4**

t[ <b>min</b> ]	<b>Primera réplica</b>		<b>Segunda réplica</b>	
	<b>X</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>X</b>	<b>Rendimiento</b>
5	7.6%	0.0%	11.02%	6.25%
10	12.8%	6.7%	16.31%	0.00%
15	17.7%	13.3%	20.01%	12.50%
20	24.0%	20.0%	23.40%	12.50%

25	27.8%	33.3%	25.43%	18.75%
30	29.1%	33.3%	28.51%	25.00%
35	31.4%	40.0%	30.76%	18.75%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 9 Isotermas humedad vs tiempo

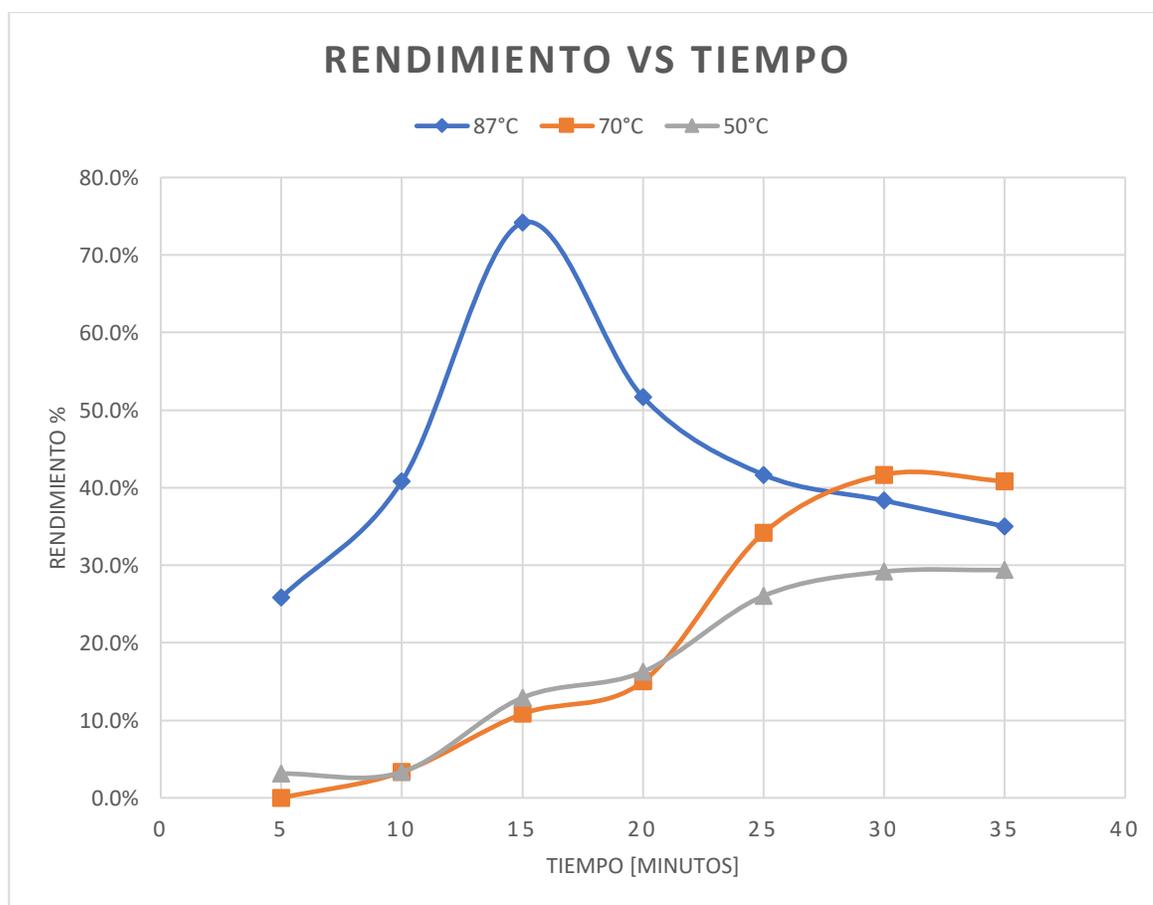


Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°9 muestra la evolución de tres variables (87°C, 70°C y 50°C) a lo largo del tiempo (t en minutos). En el caso de la variable 87°C, se observa un aumento progresivo desde el 15.9% inicial hasta alcanzar un valor máximo del 37.2% a los 35 minutos. Por otro lado, para la temperatura de 70°C y 50°C, se aprecia una tendencia similar: ambas muestran un

incremento gradual en sus porcentajes a medida que aumenta el tiempo. La temperatura de 70°C alcanza el 31.7% a los 35 minutos, mientras que la de 50°C llega al 31.1%. Este comportamiento indica que el tiempo influye en el porcentaje de ambas temperaturas, siendo más evidente en el caso de 70°C.

*Gráfico N° 10 Isotermas rendimiento vs tiempo*



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°10 presenta isotermas que ilustran las diferentes temperaturas y su impacto en el rendimiento durante el proceso de rehidratación. Se observa que a medida que la temperatura aumenta, el rendimiento también se incrementa, pero es importante tener en cuenta que el tiempo de rehidratación puede convertirse en un factor de riesgo si no es adecuadamente controlado. Estos resultados demuestran la variabilidad significativa en el rendimiento y resaltan la necesidad de un manejo preciso del tiempo para obtener resultados

óptimos. De este se determina que los mejores niveles de rendimiento se presentan para las combinaciones de temperatura a 87°C y quince minutos, y 70°C y treinta minutos.

#### 4.5.RESULTADOS DEL DISEÑO FACTORIAL 2<sup>2</sup>

##### 4.5.1.DISEÑO EXPERIMENTAL 2<sup>2</sup>

Se planteó un nuevo diseño experimental debido a que el ejecutado en el punto 4.3, mostró una incongruencia en cuanto a la relación masa- volumen (M: V), en específico en el caso de la relación 1:3, caso en el cual no guardaba relación el decremento de la humedad a mayor temperatura. Por ello en este planteamiento se trabajó con una relación constante de 1:4 (M: V).

Además, este nuevo planteamiento responde a un requerimiento de la empresa, ya que con el diseño anterior se logró determinar variables óptimas para la Elaboración de producto, sin embargo, este requería de un tiempo de reposo aproximado de 8 a 9 horas, debido a que se requería que en ese tiempo el higo rehidratado pierda humedad hasta alcanzar una maleabilidad considerable para el proceso de inyección de relleno, lo que representa un perjuicio en los tiempos de producción de la empresa.

Por tal motivo se planteó los nuevos valores alto y bajo para los factores Temperatura y tiempo (Tabla N°24) y la nueva matriz experimental (tabla N°25).

*Tabla N° 25 Niveles bajo y alto - diseño 2<sup>2</sup>*

<b>Nivel</b>	<b>Temperatura [°C]</b>	<b>Tiempo [min]</b>
LOW	70	15
HIGH	87	30

Fuente: Elaboración propia

La elección de los nuevos valores en los niveles de cada factor, se determinaron por el resultado previo, en el que el valor óptimo para la temperatura fue de 70 °C y un tiempo de 30 minutos, además de reconfirmar nuevamente con el planteamiento de las isotermas,

donde también se determinó que la combinación de factores  $T=87^{\circ}\text{C}$  y tiempo de 15 minutos, presentan niveles apreciables de rendimiento.

*Tabla N° 26 Matriz experimental del diseño 2<sup>2</sup>*

Yates	T[°C]	t[min]
1	70	15
a	87	15
b	70	30
ab	87	30

Fuente: Elaboración propia

Para esta etapa se realizó únicamente la evaluación cuantitativa (tabla N° 26- resultados del diseño), dejando de lado el análisis cualitativo, ya que con los niveles marcados para cada factor la maleabilidad del higo rehidratado ya no es un problema crítico.

*Tabla N° 27 Resultados del diseño 2<sup>2</sup>*

Yates	T[°C]	t[min]	u	m[g]	mf[g]	aptos	X	Rendimiento
1	70	15	10	92.8	112.8	5	17.73%	50.00%
a	87	15	10	94.8	120.1	8	21.07%	80.00%
b	70	30	11	97	136	8	28.68%	72.73%
ab	87	30	10	94.1	141.7	7	33.59%	70.00%
segunda replica								
1	70	15	10	80.1	98.8	6	18.93%	60.00%

a	87	15	10	88	111.9	8	21.36%	80.00%
b	70	30	10	90.1	124.1	7	27.40%	70.00%
ab	87	30	10	83.5	121.2	6	31.11%	60.00%

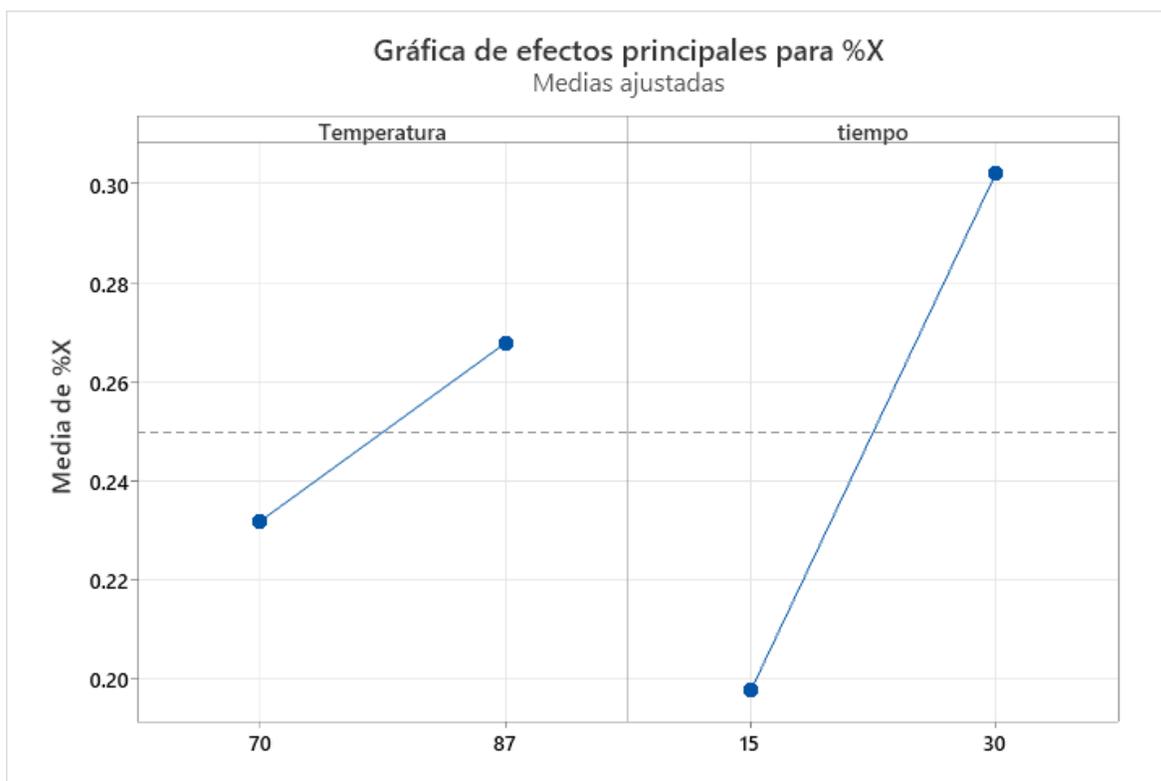
Fuente: Elaboración propia

Los valores registrados en la Tabla N° 26 se utilizaron en el programa Minitab para realizar el análisis y examinar cómo los factores afectan la variable respuesta mediante el diseño factorial 2<sup>2</sup>. Con este enfoque, se pudo estudiar cómo dos variables independientes influyen de manera conjunta en la variable respuesta del proceso. En este estudio, se consideraron dos parámetros como variables respuesta: la humedad y el rendimiento.

#### **4.5.2. ANÁLISIS DE EFECTOS EN LA HUMEDAD Y RENDIMIENTO**

Una vez que los datos fueron analizados, se crearon las gráficas N°11 y N°12, y se llevaron a cabo análisis estadísticos con el uso de Minitab®, para entender la relación entre los factores y la respuesta del proceso. Estas gráficas ofrecieron una representación clara y concisa de cómo las variables afectan el resultado.

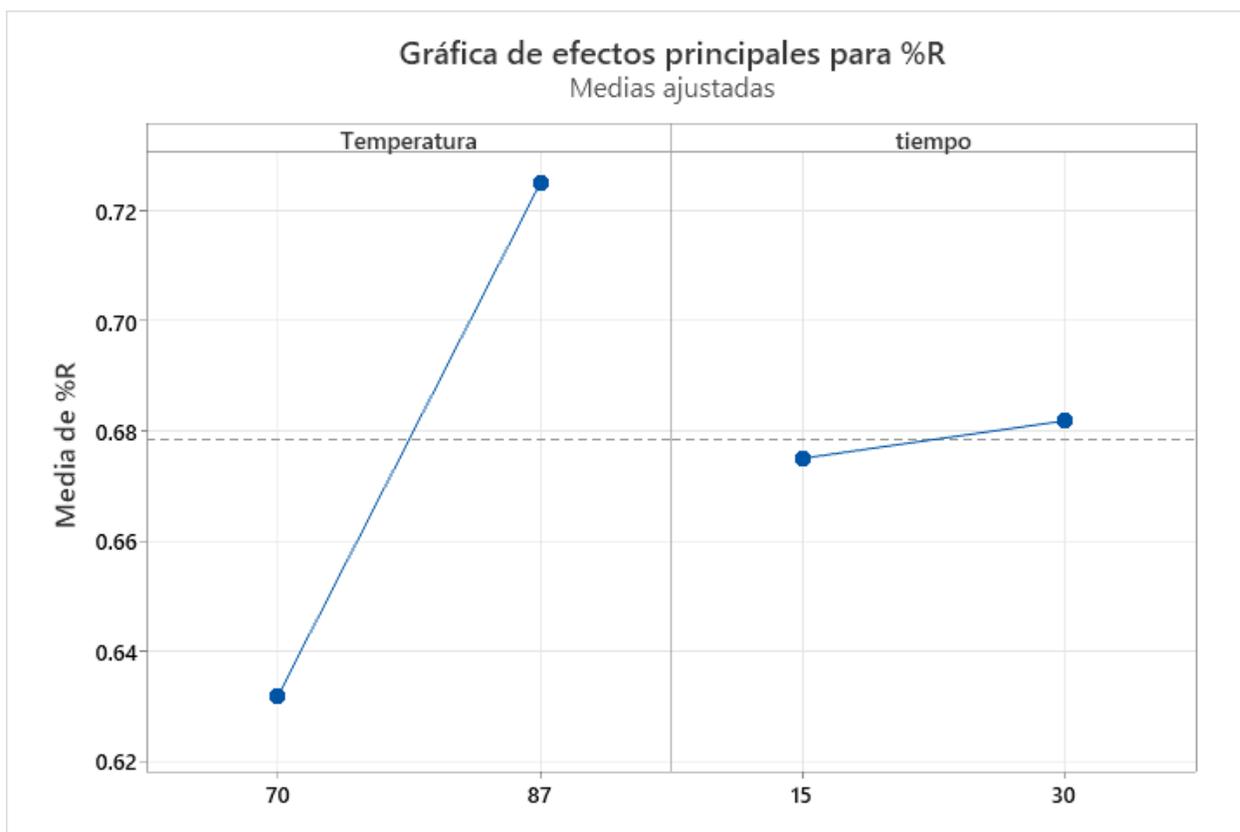
Gráfico N° 11 Efecto de temperatura y tiempo en la humedad



Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

El Gráfico N°11 presenta la interpretación de los efectos de los factores temperatura, tiempo en el proceso. Se observa que todos los factores muestran una pendiente positiva, lo que significa que un aumento en los niveles de cada factor está relacionado con un incremento en la humedad. Es decir, a medida que la temperatura, el tiempo aumentan, la humedad también tiende a aumentar. En particular, el factor tiempo tiene la pendiente más pronunciada, lo que indica que los cambios en el tiempo de procesamiento tienen un mayor impacto en la humedad higo rehidratado en comparación con el otro factor. Esta información permitió identificar qué factores tienen una influencia más significativa en la humedad.

Gráfico N° 12 Efecto de temperatura y tiempo en el rendimiento



Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

El Gráfico N°12 muestra la interpretación de los efectos de los factores temperatura y tiempo en el proceso. Se puede observar que ambos factores presentan una pendiente positiva, lo que indica que un aumento en los niveles de temperatura y tiempo está asociado con un incremento en el rendimiento. En otras palabras, a medida que la temperatura y el tiempo aumentan, el rendimiento del proceso también tiende a aumentar. Sin embargo, es importante destacar que el factor tiempo tiene la pendiente menos pronunciada en comparación con la temperatura. Esto sugiere que los cambios en el tiempo de procesamiento tienen un impacto menor en el rendimiento en comparación con los cambios en la temperatura.

La justificación de este comportamiento podría deberse a la naturaleza del proceso y la sensibilidad de la variable de respuesta (rendimiento) a los cambios en la temperatura y

el tiempo. Es posible que el rendimiento esté más influenciado por la temperatura debido a que ciertas reacciones químicas o procesos físicos son más sensibles a los cambios de temperatura. Además, el tiempo de procesamiento puede tener un impacto más limitado en el rendimiento, ya que algunas etapas del proceso pueden requerir un tiempo mínimo para completarse adecuadamente.

#### 4.5.3. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA 2<sup>2</sup>

Se llevó a cabo un análisis de varianza utilizando el software Minitab® para evaluar la variable respuesta de humedad (Tabla N°27) y rendimiento (Tabla N°28).

*Tabla N° 28 Análisis de varianza para humedad*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajust.</b>	<b>MC Ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
Modelo	3	0.024416	0.008139	69.74	0.001
Lineal	2	0.024314	0.012157	104.17	0.000
Temperatura	1	0.002589	0.002589	22.18	0.009
tiempo	1	0.021725	0.021725	186.15	0.000
Interacciones de 2 términos	1	0.000102	0.000102	0.87	0.403
Temperatura*tiempo	1	0.000102	0.000102	0.87	0.403
Error	4	0.000467	0.000117		
Total	7	0.024883			

Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

El análisis de varianza de la tabla N°27 muestra que el modelo es altamente significativo (Valor  $p = 0.001$ ), lo que indica que al menos uno de los factores tiene un efecto significativo en la variable respuesta. Al examinar los efectos lineales, se observa que tanto la temperatura como el tiempo tienen un impacto altamente significativo en la variable de respuesta (Valores  $p = 0.009$  y  $0.000$  respectivamente). Esto sugiere que tanto la temperatura como el tiempo son factores importantes que influyen en el resultado del proceso y que un aumento en cualquiera de ellos está asociado con un incremento significativo en la variable de interés. Por otro lado, la interacción de dos términos entre la temperatura y el tiempo no es significativa (Valor  $p = 0.403$ ), lo que indica que el efecto conjunto de estos dos factores no tiene una influencia significativa en la variable de respuesta.

*Tabla N° 29 Análisis de varianza para el rendimiento*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	0.066643	0.022214	8.57	0.032
Lineal	2	0.017459	0.008729	3.37	0.139
Temperatura	1	0.017366	0.017366	6.70	0.061
tiempo	1	0.000093	0.000093	0.04	0.859
Interacciones de 2 términos	1	0.049184	0.049184	18.97	0.012
Temperatura*tiempo	1	0.049184	0.049184	18.97	0.012
Error	4	0.010372	0.002593		
Total	7	0.077014			

Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

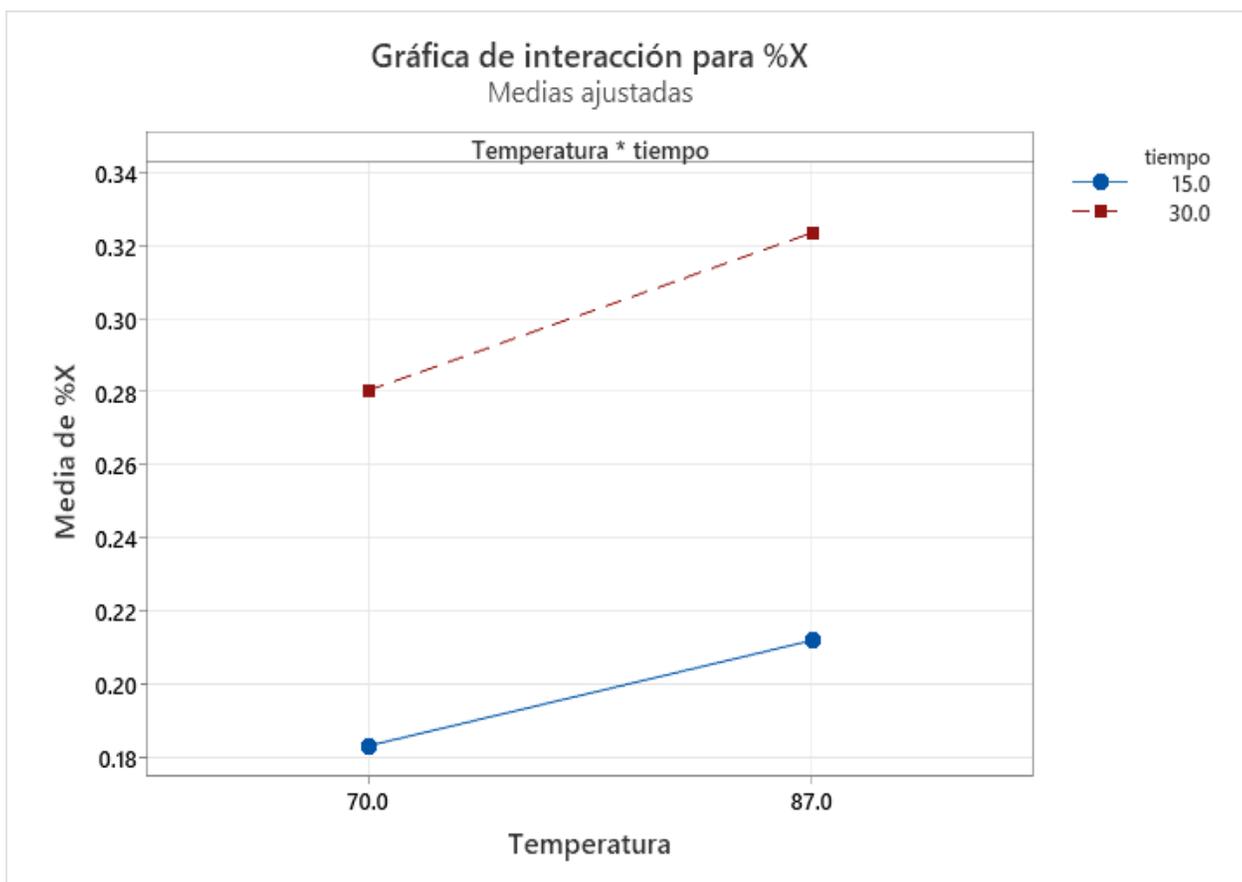
El análisis de varianza de la tabla N°28 demuestra que el modelo es estadísticamente relevante en su conjunto (Valor  $p = 0.032$ ), lo cual indica que al menos uno de los factores tiene un efecto significativo en la variable respuesta. Al analizar los efectos individuales de la temperatura y el tiempo, se observa que ambos factores tienen un impacto significativo en la variable respuesta, aunque con un nivel de significancia ligeramente marginal (Valores  $p = 0.061$  y  $0.859$ , respectivamente). Esto sugiere que tanto la temperatura como el tiempo pueden influir en el resultado del proceso.

La interacción de dos términos entre la temperatura y el tiempo muestra un efecto significativo y más pronunciado (Valor  $p = 0.012$ ), lo que indica que la combinación de estos dos factores tiene una influencia relevante en la variable de respuesta. En otras palabras, el efecto de la temperatura puede depender del tiempo de procesamiento y viceversa. Esta interacción destaca la importancia de estudiar los factores de manera conjunta para comprender mejor su impacto en el proceso.

#### **4.5.4. INTERACCIÓN DE LOS FACTORES EN EL DISEÑO 2<sup>2</sup>**

El análisis de las gráficas de interacción en el diseño factorial fue muy importante para entender cómo los factores interactuaron y afectaron las variables de respuesta del proceso. Estas gráficas ayudaron a ver si los efectos de los factores eran independientes o si había una interacción significativa entre ellos, a través de patrones y tendencias identificadas en los datos.

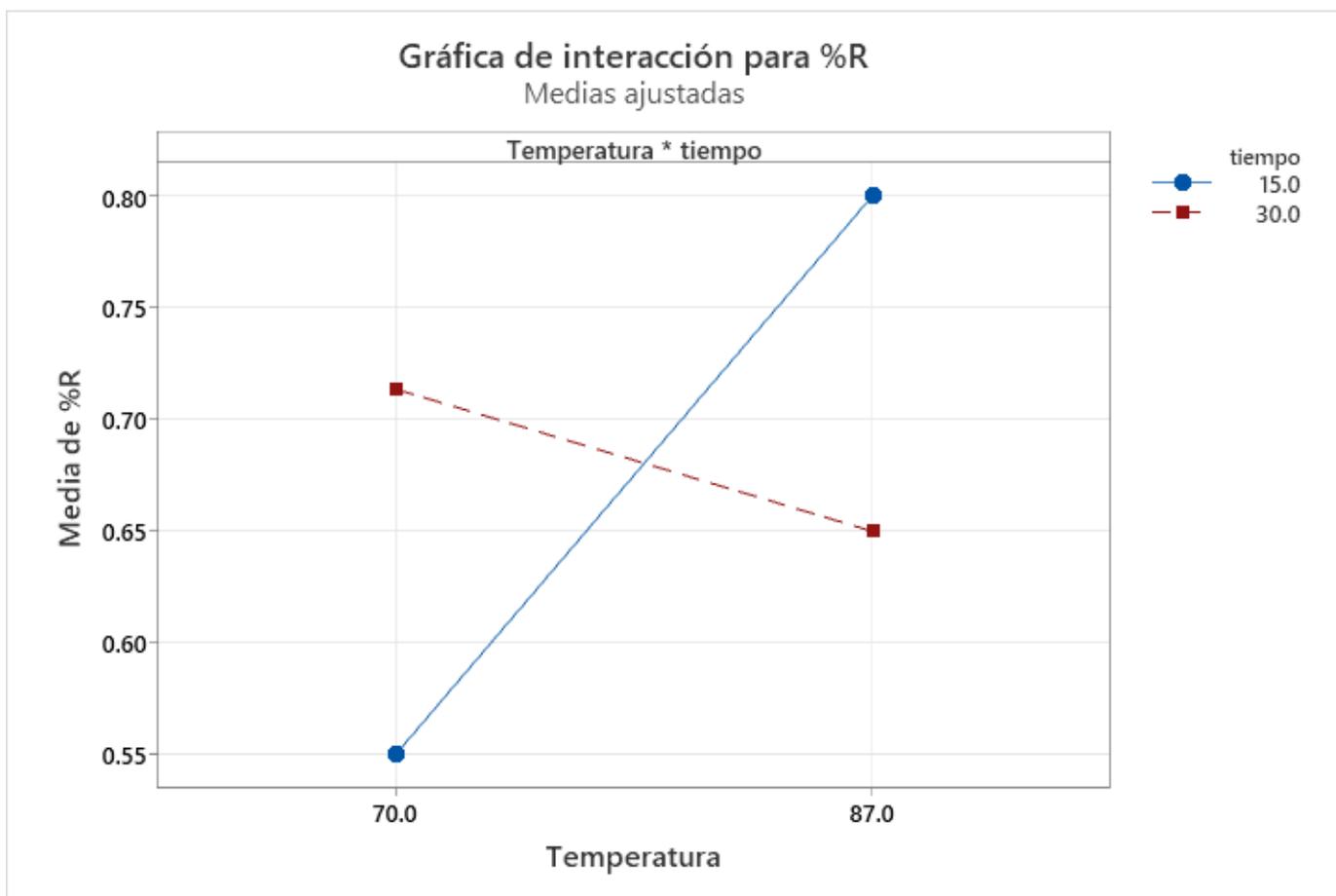
Gráfico N° 13 Interacción de factores para humedad



Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

El gráfico N° 13, que muestra la interacción entre temperatura y tiempo en la determinación de humedad en el proceso revela que no existe una interacción significativa entre estos dos factores. Las líneas paralelas indican que los cambios en la temperatura no afectan la humedad de manera diferente según el tiempo de procesamiento, y viceversa. Esto sugiere que la humedad del proceso se ve afectada de manera independiente por la temperatura y el tiempo, y no hay una relación proporcional entre ellos en términos de su efecto en la humedad. Esta interpretación es importante para entender que al ajustar la temperatura y el tiempo en el proceso, se puede esperar una variación en la humedad, pero sin una interacción específica entre estos dos factores.

Gráfico N° 14 Interacción de factores para el rendimiento



Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

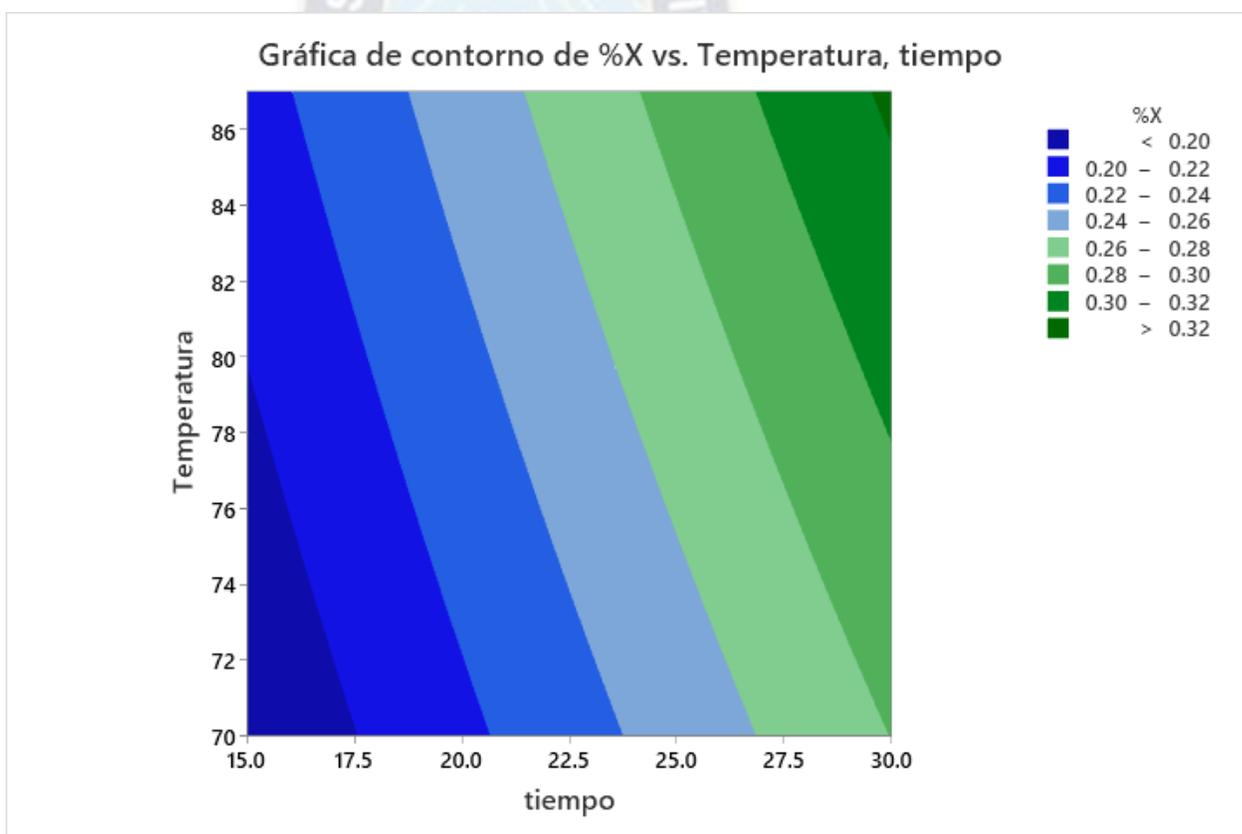
El gráfico de interacción entre tiempo y temperatura en la determinación del rendimiento del proceso (gráfico N°14), muestra que existe una interacción significativa entre estos dos factores. El cruce de las pendientes de ambas rectas indica que el efecto del tiempo en el rendimiento puede depender del nivel de temperatura, y viceversa.

Es decir, el impacto del tiempo en el rendimiento puede ser diferente a diferentes temperaturas, y lo mismo ocurre con el efecto de la temperatura en el rendimiento en función del tiempo de procesamiento. Esta interacción sugiere que el rendimiento del proceso no se ve afectado de manera independiente por el tiempo y la temperatura, sino que su efecto conjunto es importante para determinar el resultado final.

#### 4.5.5. GRÁFICAS DE CONTORNO PARA EL DISEÑO 2<sup>2</sup>

Se elaboró gráficas de contorno para evaluar el proceso, ya que permitió visualizar y analizar de manera efectiva la relación entre las variables de entrada y la variable de respuesta. Estas gráficas proporcionaron una representación clara de cómo cambiaba la variable de respuesta (humedad o rendimiento) con diferentes combinaciones de factores de entrada, lo que facilitó la identificación de tendencias y patrones. La justificación para utilizar estas gráficas radicó en su capacidad para proporcionar aproximaciones visuales de los rangos de trabajo en el proceso, lo que ayudó a identificar áreas óptimas para alcanzar el rendimiento o la humedad deseada. Además, permitieron detectar áreas de mejora y optimización al encontrar regiones donde la variable de respuesta alcanzaba niveles óptimos.

*Gráfico N° 15 G. de contorno para la humedad*

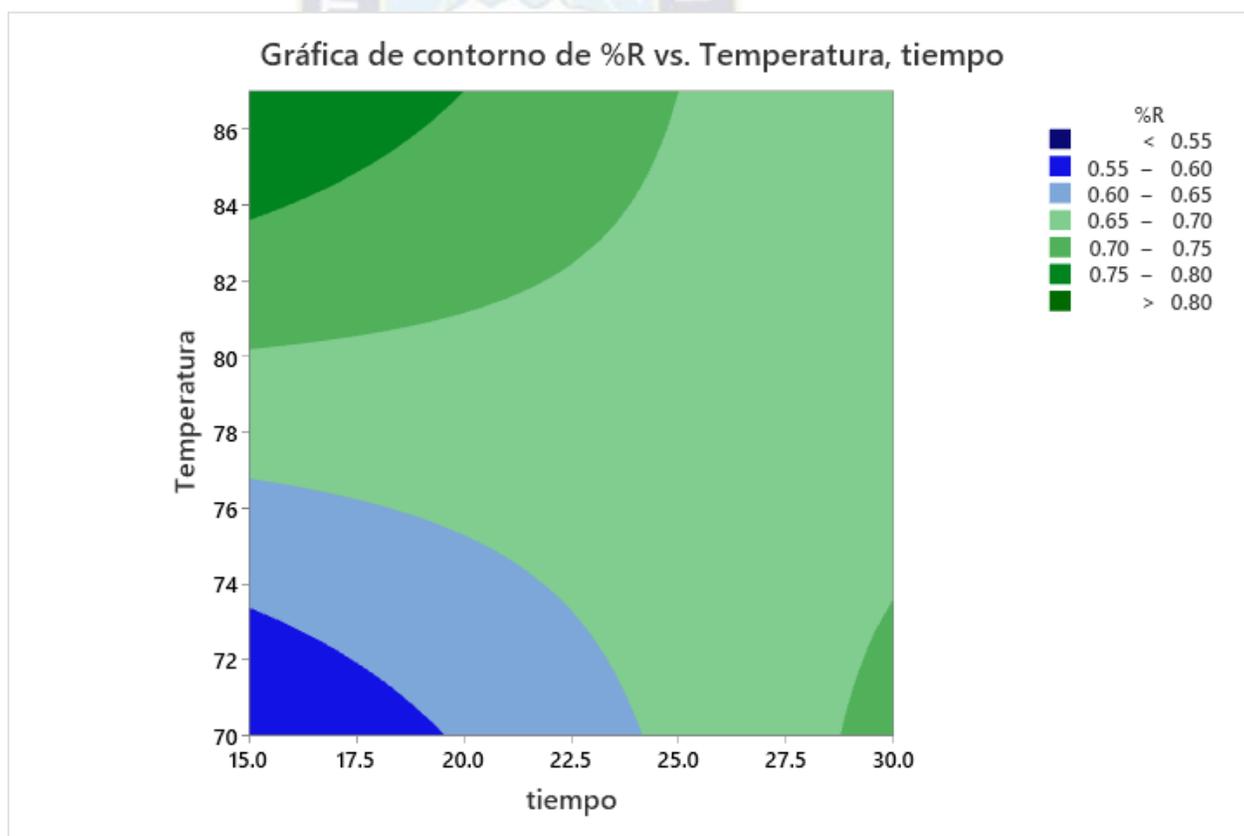


Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

El Gráfico N°15 es una representación visual en forma de diagrama de contornos que proporciona información sobre la relación entre las variables de entrada (temperatura y tiempo) y la variable de respuesta (humedad) en el proceso. En este diagrama, se observa claramente las áreas con pendientes muy elevadas, lo que indica que incluso pequeños cambios en la temperatura y el tiempo tienen un impacto significativo en la humedad del proceso. Estas áreas con pendientes pronunciadas resaltan la sensibilidad del proceso a las variaciones en estos factores, lo que significa que pequeñas modificaciones en la temperatura o el tiempo pueden resultar en cambios importantes en la humedad del producto final.

Además, la presencia de espacios cortos entre los contornos en el gráfico también es relevante. Estos espacios estrechos reflejan la rápida variación de la humedad en función de las combinaciones específicas de temperatura y tiempo.

*Gráfico N° 16 G. de contorno para el rendimiento*



Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

El Gráfico N°16 presenta una gráfica de contorno que representa la relación entre el rendimiento como variable de respuesta y las variables de entrada temperatura y tiempo en el proceso de rehidratación. Al analizar este gráfico, se observa un comportamiento interesante. A partir de 80°C y en tiempos más cortos de proceso de rehidratación, el rendimiento experimenta un incremento significativo. En contraste, por debajo de esta temperatura, el rendimiento tiende a disminuir. Este patrón sugiere que existe una temperatura crítica de alrededor de 80°C, a partir de la cual el rendimiento aumenta, y por debajo de la cual se obtienen resultados menos favorables.

#### 4.5.6. VARIABLES ÓPTIMAS PARA LA REHIDRATACIÓN

Después de aplicar el diseño factorial  $2^3$ , los resultados fueron sometidos a análisis utilizando el programa Minitab® y su herramienta de optimización de procesos, lo que permitió generar la Tabla N°30 con los datos relevantes.

*Tabla N° 30 Optimización de respuesta: %R, %X*

Parámetros						
Respuesta	Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importancia
%R	Máximo	0.5	0.8		1	1
%X	Objetivo	0.177305	0.21	0.335921	1	1
Solución						
Solución	Temperatura	tiempo	%R Ajuste	%X Ajuste	Deseabilidad compuesta	
1	87	15	0.8	0.212121	0.991544	
Predicción de respuesta múltiple						
Variable	Valor de Configuración					
Temperatura	87					
tiempo	15					
Respuesta	Ajuste		EE de ajuste	IC de 95%		IP de 95%
%R	0.8		0.036	(0.7000, 0.9000)		(0.6268, 0.9732)
%X	0.21212		0.00764	(0.19091, 0.23333)		(0.17539, 0.24886)

Fuente: Elaboración propia con Minitab ®

#### 4.6. CORRECCIÓN Y AJUSTE AL MODELO DE PELEG

Para realizar el ajuste al modelo de Peleg se construyeron dos isotermas, una de 87 °C y la otra de 70 °C, sin embargo, en la construcción de estas, se tomaron en cuenta la humedad inicial del higo deshidratado, que se determinó en el punto 4.1- Determinación de humedad inicial en el higo deshidratado, de tal forma se expone los resultados en la tabla N°31.

*Tabla N° 31 Isotermas de humedad corregidas*

<b>X<sub>0</sub>=34%</b>					
<b>T=87°C</b>			<b>T=70°C</b>		
<b>t[min]</b>	<b>m[g]</b>	<b>X</b>	<b>t[min]</b>	<b>m[g]</b>	<b>X</b>
0	83.1	0.3414	0	90.1	0.3397
5	90.1	0.4256	5	96.1	0.4063
10	99.2	0.5351	10	104.3	0.4973
15	105.9	0.6157	15	110.5	0.5661
20	110.1	0.6663	20	115.1	0.6172
25	117.3	0.7529	25	119	0.6605
30	121.2	0.7998	30	124.1	0.7171
35	123.5	0.8275	35	128.4	0.7648
40	126.4	0.8624	40	129.4	0.7759

Fuente: Elaboración propia

Los datos presentados en la tabla N°31 muestran la evolución de la humedad (X) de un producto a lo largo del tiempo (t) a dos diferentes temperaturas (T=87°C y T=70°C). Se puede observar que a ambas temperaturas, la humedad (X) del producto aumenta gradualmente a medida que transcurre el tiempo. A T=87°C, la humedad alcanza el 82.75% después de 35 minutos, mientras que a T=70°C, llega al 77.59% en el mismo tiempo. Es evidente que la temperatura influye en la velocidad de incremento de la humedad, siendo más rápido a una temperatura más alta. Además, a T=87°C, el producto alcanza niveles de humedad más altos en general.

Estos datos fueron analizados mediante un código de programación elaborado en Google Colab, para realizar el ajuste de acuerdo a la ecuación (3), de donde se obtuvieron como resultado los valores de humedad inicial, las constantes  $k_1$  y  $k_2$  para las temperaturas de 87°C y 70°C (Tabla N°32).

Tabla N° 32 Parámetros ajustados al modelo de Peleg

	87°C		70°C
$k_1 \left[ \frac{g \text{ min}}{g} \right]$	41.235	$k_1 \left[ \frac{g \text{ min}}{g} \right]$	52.639
$k_2 \left[ \frac{g}{g} \right]$	0.8211	$k_2 \left[ \frac{g}{g} \right]$	0.881
$X_0$	0.3318	$X_0$	0.3325
$R^2$	0.9961	$R^2$	0.9965

Fuente: Elaboración propia

Quedando para 87°C y 70°C, los modelos matemáticos respectivos, ecuación (5) y ecuación (6).

$$\text{A } 87^\circ\text{C: } X_{wt} = 0.332 + \left[ \frac{t}{41.235 + 0.8211 * t} \right] \quad \text{Ec. (5)}$$

$$\text{A } 70^{\circ}\text{C: } X_{wt} = 0.332 + \left[ \frac{t}{52.639 + 0.881 * t} \right] \quad \text{Ec. (6)}$$

Las ecuaciones (4) y (5) representan una relación entre la humedad del producto  $X_{wt}$  y el tiempo (t). El comportamiento de las ecuaciones muestra un aumento en la humedad del producto a medida que el tiempo avanza. Inicialmente, la humedad es de aproximadamente 0.332 y luego aumenta gradualmente a medida que t aumenta. Sin embargo, a medida que el tiempo se incrementa, la tasa de incremento de la humedad se reduce, lo que indica un comportamiento de crecimiento lento y eventualmente se estabiliza, acercándose a un límite superior. Esto sugiere que el proceso de rehidratación tiende a converger hacia una humedad máxima a medida que el tiempo progresa.

Ya que tanto el coeficiente de velocidad como el coeficiente de capacidad son mayores a menor temperatura, se determinó que la humedad alcanzada a  $87^{\circ}\text{C}$  en un mismo tiempo que la alcanzada a  $70^{\circ}\text{C}$  es mayor.

#### 4.7. RESULTADO DE LA ACTIVIDAD DE AGUA EN EL HIGO

Como parte de la caracterización del producto final, obtenido con el resultado de haber determinado las variables óptimas del proceso de rehidratación, se determinó mediante pruebas de laboratorio, aplicando el método estático, la actividad de agua en el higo rehidratado con las condiciones óptimas.

*Tabla N° 33 Cantidad de agua perdida o ganada en soluciones saturadas*

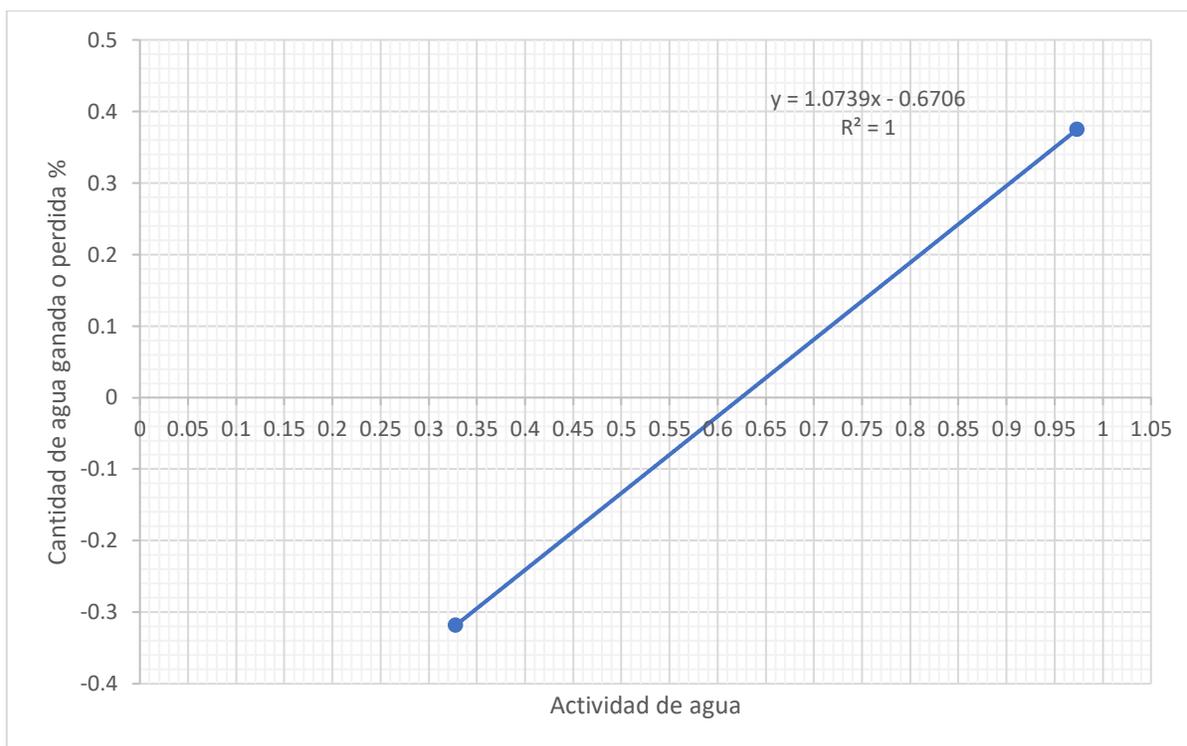
<b>Primera réplica</b>				
	<b>m1</b>	<b>m2</b>	<b>m3</b>	<b>X</b>
MgCl <sub>2</sub>	2.7081	3.2359	3.0714	-0.311671
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.9558	1.3482	1.5009	0.3891437

<b>Segunda réplica</b>				
	<b>m1</b>	<b>m2</b>	<b>m3</b>	<b>X</b>
MgCl <sub>2</sub>	2.399	2.9431	2.7663	-0.324940
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2.3473	2.7594	2.9076	0.3596215
<b>X Promedio</b>				
MgCl <sub>2</sub>	-		K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.3743826
	0.3183057			

Fuente: Elaboración propia

Se determinó la cantidad de agua perdida o ganada por el higo en equilibrio con soluciones saturadas (Tabla N°33), valores con los cuales se construyó el gráfico N°17 actividad de agua vs %agua, en el cual la intersección con el eje de las abscisas determina la actividad de agua presente en el alimento.

Gráfico N° 17 Actividad de agua vs %agua



Fuente: Elaboración propia

Se determinó que la actividad de agua es igual a  $0.623 \pm 0.009$

Este valor de actividad de agua, es de gran importancia en cuanto a la conservación del alimento. La actividad de agua es una medida que indica la cantidad de agua disponible en un alimento, y está relacionada con su estabilidad y capacidad para mantenerse seguro frente al crecimiento de microorganismos y el deterioro. En el caso específico del higo rehidratado, un valor de actividad de agua de 0.623 sugiere que aún contiene una cantidad significativa de agua, lo que puede favorecer el crecimiento de microorganismos y la degradación del producto si no se toman las medidas adecuadas de almacenamiento y conservación, como el uso de envases herméticos y almacenamiento en condiciones óptimas de temperatura y humedad.

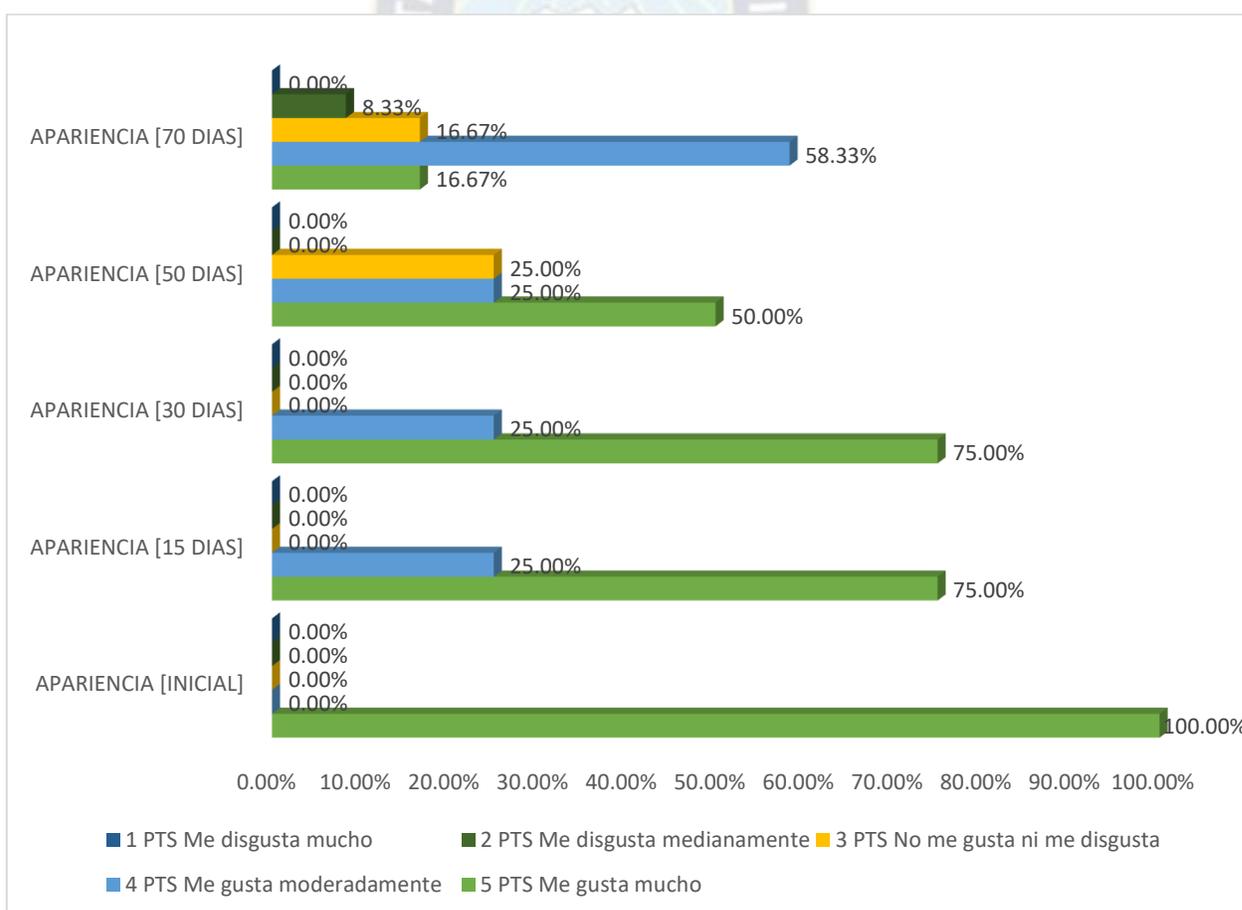
## 4.8. RESULTADOS DE VIDA ÚTIL

### 4.8.1. EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA

Se llevó a cabo una evaluación cualitativa de las características organolépticas del producto final elaborado con el higo rehidratado en distintos intervalos de tiempo, con el objetivo de determinar su vida útil. Para garantizar la precisión y coherencia de los resultados, se formó un panel reducido de 12 evaluadores, debido a que se trata de un producto nuevo y se requiere de expertos con conocimiento y sensibilidad para identificar las propiedades sensoriales de manera precisa.

Cada evaluador realizó una evaluación detallada de la apariencia, color, aroma, sabor y textura del producto en diferentes etapas de almacenamiento, manteniendo las condiciones óptimas de conservación. Estos datos fueron fundamentales para tomar decisiones informadas sobre la vida útil del producto, asegurando su calidad y aceptación en el mercado.

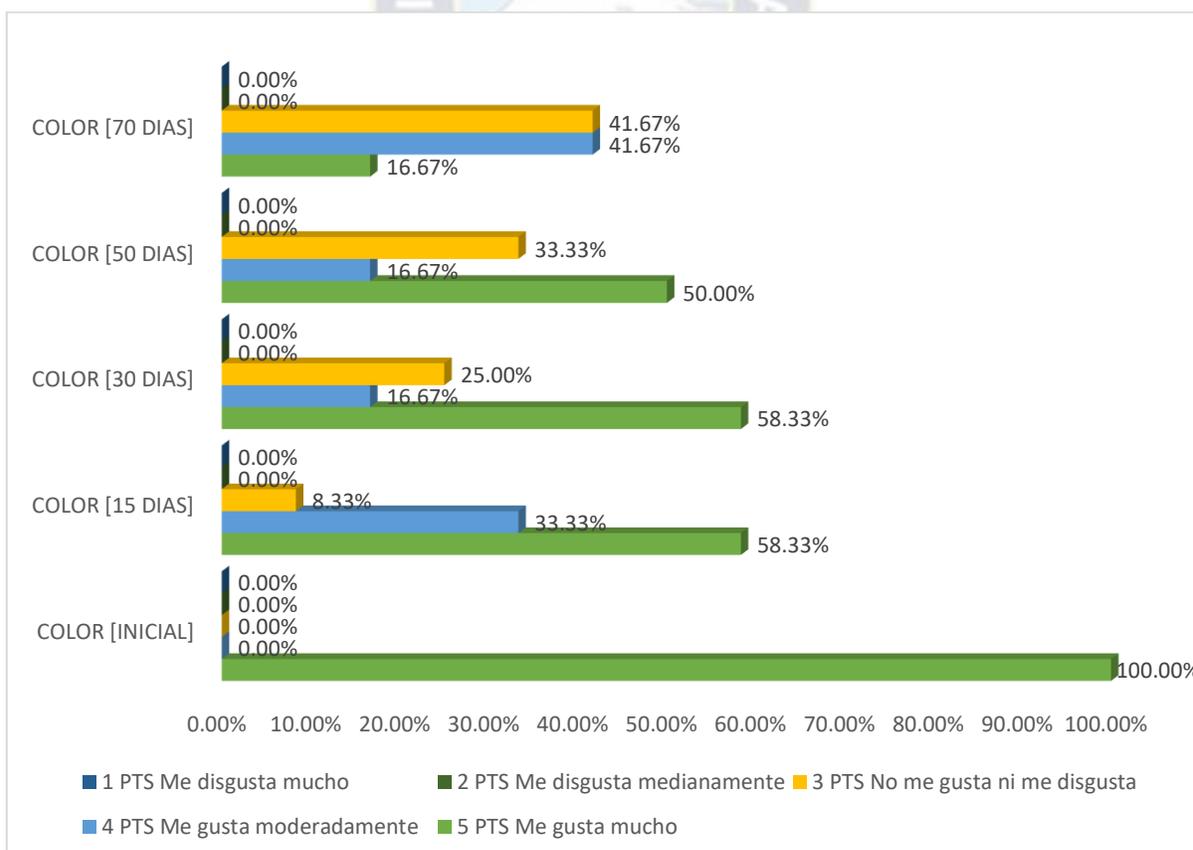
*Gráfico N° 18 Evaluación - apariencia*



Fuente: Elaboración propia

La información presentada en el gráfico N°18, corresponde a la evaluación de la apariencia en distintos lapsos de tiempo, utilizando una escala de puntuación que va de 1 a 5, siendo 5 el valor máximo que indica un alto nivel de agrado por parte del consumidor. Los resultados muestran que en la evaluación inicial y a lo largo de los primeros 30 días, el producto obtuvo consistentemente una puntuación cerca al valor de 5, con niveles de puntuación máxima de un 75% al 100%. Sin embargo, después de los 50 días, se observa una ligera disminución en la puntuación promedio, alcanzando una valoración de 4 en un 25% del panel y reduciendo a un 50% la aceptación completa. Esto sugiere que, con el tiempo, la apariencia del producto podría estar experimentando algún grado de deterioro, aunque aún sigue siendo bien valorada por los clientes. A los 70 días, se registra una puntuación promedio de 3.9 puntos, lo que indica una ligera reducción en la satisfacción del consumidor con la apariencia del producto.

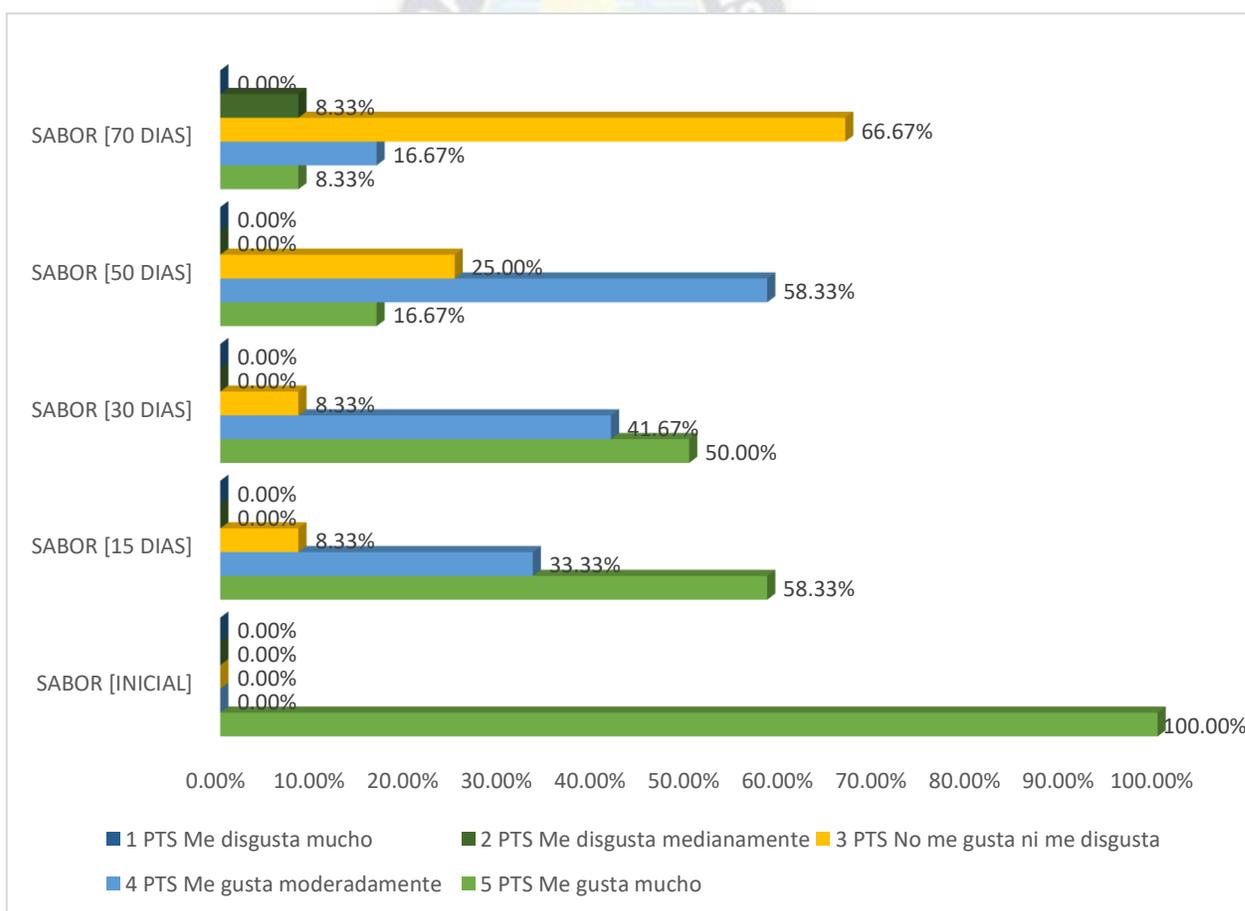
Gráfico N° 19 Evaluación- color



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°19 se representa la evaluación del color del producto en distintos lapsos de tiempo. Los resultados muestran una alta consistencia en la apreciación del color (del dulce de leche) durante la mayoría de los lapsos de tiempo, ya que la mayoría de las evaluaciones obtuvieron puntuaciones de 5 puntos, lo que indica un alto nivel de satisfacción con el color del producto. Sin embargo, se observa que en algunos momentos hubo una leve disminución en la puntuación, con valores de 4 y 3, lo que podría indicar una ligera variación en la percepción del color en esos lapsos específicos. En general, la evaluación del color es positiva y estable, lo que sugiere que el producto mantiene una apariencia agradable y atractiva para el consumidor a lo largo del tiempo.

Gráfico N° 20 Evaluación- sabor

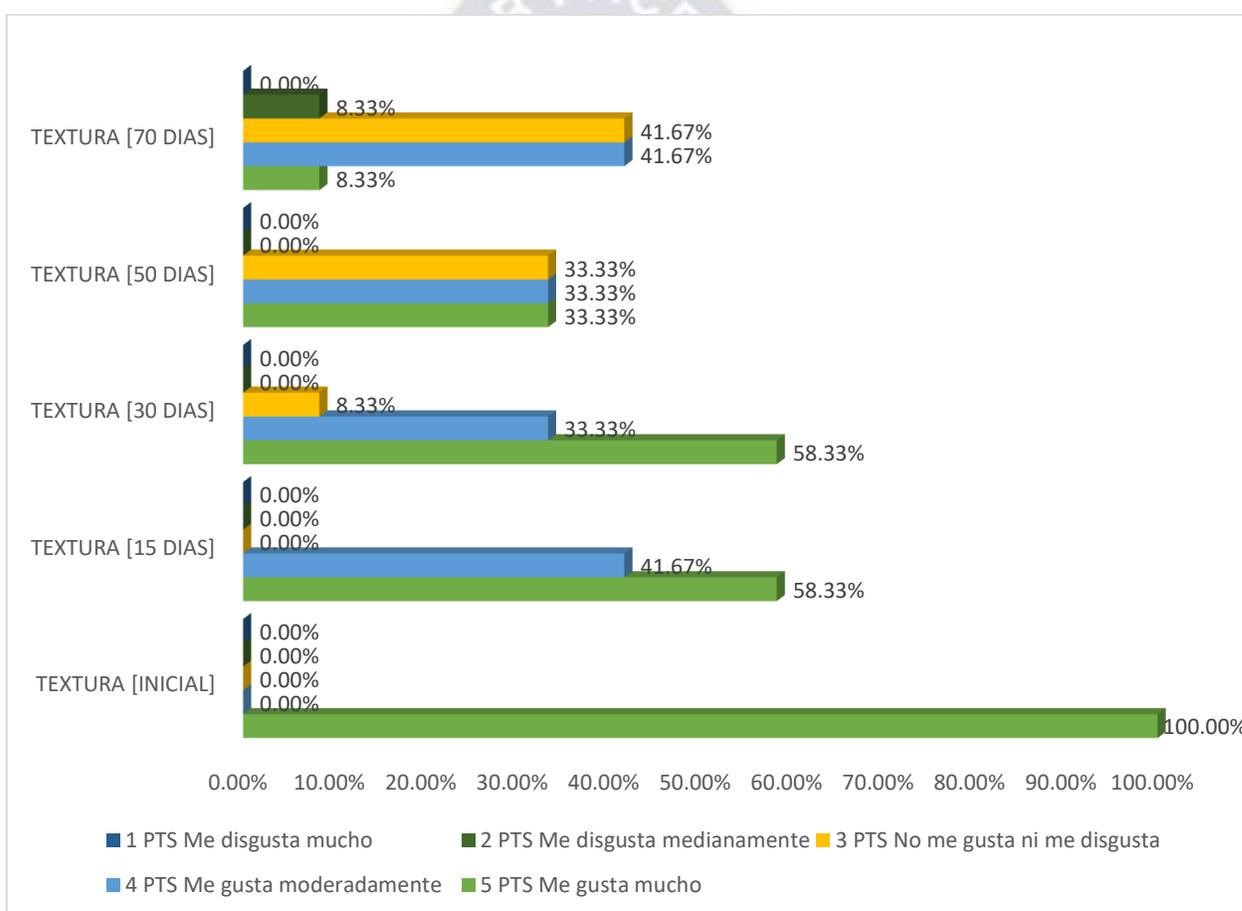


Fuente: Elaboración propia

La interpretación de los datos que se muestra en el gráfico N°20, indica que el sabor del producto se mantuvo en niveles altos de satisfacción desde el inicio hasta los 30 días. Los

evaluadores otorgaron consistentemente una puntuación máxima de 5 puntos, lo que indica un sabor altamente agradable y satisfactorio en ese período. Sin embargo, a partir de los 50 días, se observa una ligera disminución en la puntuación del sabor, con algunas evaluaciones otorgando un valor de 4 puntos, 3 e incluso 2 puntos, lo que sugiere una leve pérdida de la calidad del sabor característico con el tiempo. A pesar de esto, el sabor general del producto sigue siendo considerado bueno, ya que hasta la última evaluación el puntaje de 3, es el mayoritario con más del 60%.

Gráfico N° 21 Evaluación- textura



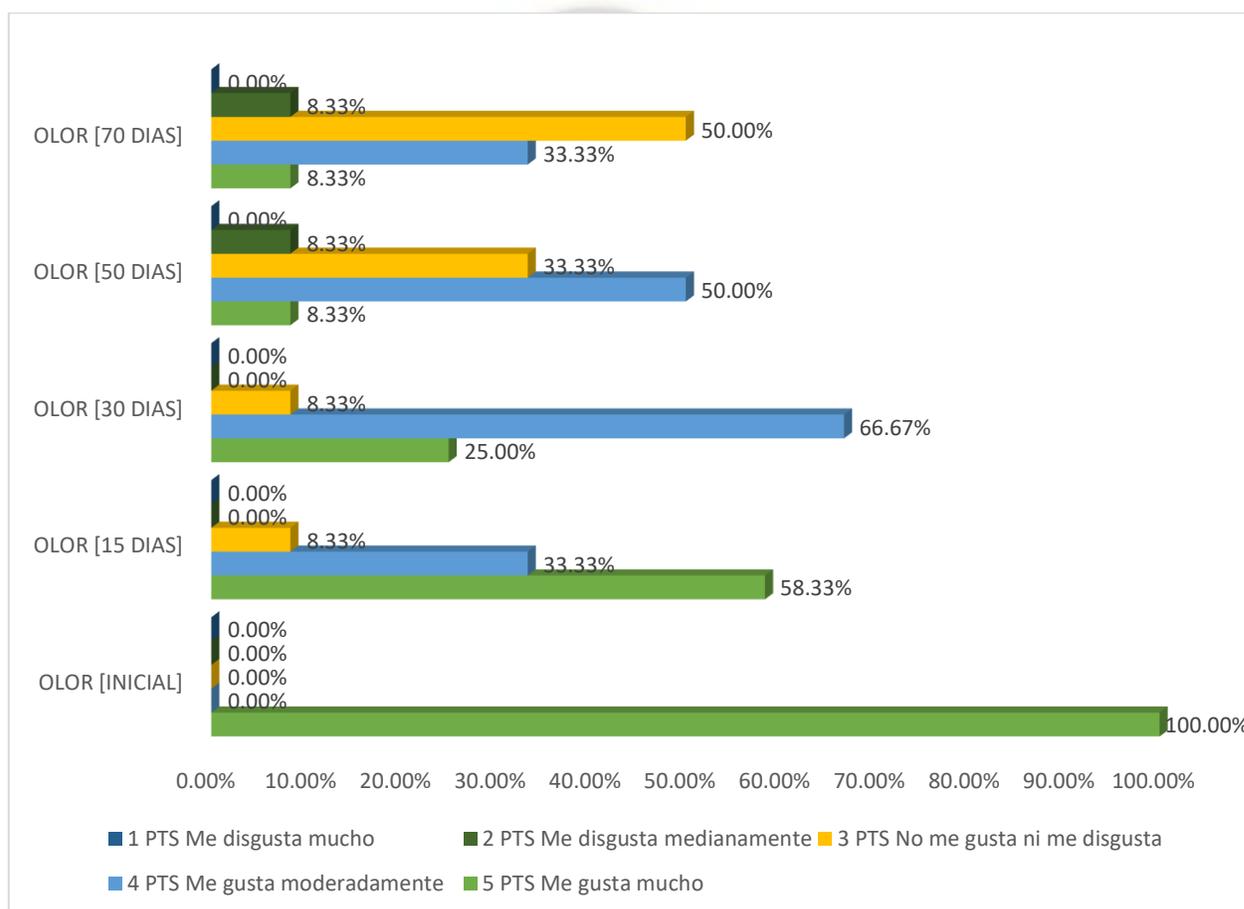
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico N°10, en general, se puede observar que la mayoría de las muestras obtuvieron una alta puntuación de 5 para la textura en los diferentes lapsos de tiempo, lo que indica una consistencia favorable del producto durante su vida útil. Sin embargo, se observa que algunas muestras obtuvieron puntuaciones ligeramente inferiores, especialmente en los

lapsos de tiempo más avanzados (50 días y 70 días), indicando ya para el día 70 que a el 8% le disgusta el producto.

A pesar de que la mayoría de las evaluaciones reflejan una textura satisfactoria, es importante considerar las tendencias a lo largo del tiempo y cualquier disminución en las puntuaciones, ya que podría indicar cambios en la calidad del producto con el tiempo.

*Gráfico N° 22 Evaluación- olor*



Fuente: Elaboración propia

El gráfico N°22 muestra una evaluación del "OLOR" en cinco intervalos: inicial, 15 días, 30 días, 50 días y 70 días. En general, los consumidores se mostraron satisfechos con el olor durante todo el período de evaluación, ya que la mayoría de las puntuaciones se mantuvieron constantes, indicando que el producto retuvo su aroma agradable incluso después de un tiempo prolongado. Sin embargo, se observó una disminución en algunas puntuaciones,

especialmente a partir de los 50 días, reduciendo la cantidad de personas en otorgar la calificación máxima de un 25% a un 8.33%.

Esta devaluación en el puntaje pudo deberse a la aparición de olores no característicos del producto original, debido a una degradación.

#### 4.8.2. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ÍNDICE DE PERÓXIDOS

Se tomó la decisión de realizar una evaluación del producto mediante el índice de peróxidos en diferentes intervalos de tiempo como parte del estudio de su vida útil. El análisis se enfocó específicamente en el dulce de leche, que es el relleno del producto, debido a su contacto directo con el higo rehidratado. El índice de peróxidos se utilizó como una medida crucial para evaluar la calidad y estabilidad del producto a lo largo del tiempo, ya que proporciona información sobre el grado de oxidación y posible deterioro de los lípidos presentes en el dulce de leche. Esta evaluación es esencial para garantizar que el producto mantenga su frescura y calidad organoléptica, asegurando que el higo rehidratado y el dulce de leche se conserven adecuadamente y ofrezcan una experiencia sensorial óptima para los consumidores.

*Tabla N° 34 Índice de peróxidos por etapas*

<b>Etapa</b>	<b>Vm [ml]</b>	<b>Vb [ml]</b>	<b>m [g]</b>	<b>I.P.[meq/kg]</b>
Inicio	13.9	13.8	0.9	1.11
15 días	13.9	13.8	0.9	1.11
30 días	14	13.8	0.9	2.22
50 días	14.2	13.8	0.9	4.44
70 días	14.5	13.8	0.9	7.78

Fuente: Elaboración propia

La tabla N°34 muestra que en las etapas inicial y a los 15 días, el índice de peróxidos es de 1.11 meq/kg, lo que indica un bajo nivel de oxidación y una buena estabilidad del producto en sus primeros días de evaluación. Sin embargo, a los 30 días, el índice aumenta a 2.22 meq/kg, lo que sugiere una mayor presencia de peróxidos y un leve aumento en la oxidación, mas no es un indicador de rancidez. A los 50 días, el índice se incrementa significativamente a 4.44 meq/kg, lo que podría indicar una mayor deterioración y comienzo de rancidez del dulce de leche. Finalmente, a los 70 días, el índice alcanza el valor más alto de 7.78 meq/kg, lo que refleja una oxidación más avanzada y una reducción en la calidad del producto.

Estos resultados sugieren que la muestra de dulce de leche experimenta un aumento progresivo en su índice de peróxidos a medida que transcurre el tiempo, lo que indica un deterioro gradual debido a la oxidación de sus lípidos.

#### 4.8.3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE KREISS (RANCIDEZ)

*Tabla N° 35 Evaluación cualitativa del ensayo de Kreiss*

<b>Etapas</b>	<b>Coloración</b>
Inicio	ninguna
15 días	ninguna
30 días	ninguna
50 días	ninguna
70 días	amarillo- naranja

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 35 muestra los resultados del ensayo cualitativo de Kreiss para determinar la rancidez en una muestra de dulce de leche que se encontraba como relleno del producto final, a lo largo de distintos tiempos de evaluación. En cada etapa, se evaluó la coloración del producto para identificar posibles signos de rancidez. En las etapas inicial y a los 15, 30 y 50 días, no se observó ningún cambio significativo en la coloración, lo que indica que el producto

se mantuvo sin evidencia aparente de rancidez en esos momentos. El hecho de que no se hayan observado cambios de coloración en las etapas iniciales indica una buena conservación y ausencia de rancidez durante esos períodos. No obstante, la aparición de una coloración amarillo-naranja a los 70 días indica la posible oxidación y rancidez del producto.

#### 4.8.4. RECuento DE MOHOS Y LEVADURAS

Se llevó a cabo un recuento de mohos y levaduras los intervalos de tiempo de 0, 15, 30, 50 y 70 días. Para cada muestreo se realizó dos réplicas, se evaluó 3 diluciones. Finalmente se reportó los resultados de la dilución  $10^{-2}$ . El reporte completo se encuentra descrito en el ANEXO D.

El realizar los recuentos en intervalos específicos permitió la identificación de crecimientos de mohos, lo que indicó una contaminación microbiana y el riesgo de deterioro del producto.

*Tabla N° 36 Resultado del recuento de mohos*

<b>Etapas</b>	<b>Recuento total de colonias</b>
Inicio	<10 [UFC/g]
15 días	<10 [UFC/g]
30 días	150± 71 [UFC/g]
50 días	250± 71[UFC/g]
70 días	425± 141[UFC/g]

Fuente: Elaboración propia

La Tabla N° 36 presenta los resultados del recuento de mohos en diferentes etapas de evaluación. En las etapas inicial, a los 15 días, se observaron recuentos totales de colonias por debajo de las 10 unidades formadoras de colonias por gramo (UFC/g), debido a que en reporte

mostró ausencia de colonias. Sin embargo, a los 30 días, el recuento aumentó a 150 UFC/g, lo que podría haber señalado un posible incremento en la población de mohos. Finalmente, a los 50 y 70 días, el recuento de mohos se elevó significativamente llegando para la última evaluación a 425 UFC/g, lo que habría indicado un aumento sustancial en la población de mohos en el producto.



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

Este estudio de investigación se desarrolló con el propósito de abordar el desafío planteado por la empresa Fábrica de chocolates y dulces “*Cóndor SRL*”, que busca ampliar su línea de productos bañados incorporando una nueva propuesta que involucra el uso del higo. El producto en cuestión es un higo rehidratado relleno de dulce de leche y recubierto con chocolate. La empresa había previamente llevado a cabo pruebas preliminares en las cuales se identificó un problema de control de humedad durante el proceso de rehidratación del higo. En respuesta a esta problemática, el presente estudio se presenta como una solución investigativa. Por ello, el objetivo principal del trabajo se orienta a identificar las variables óptimas para la rehidratación del higo. Para alcanzar este propósito, se definieron objetivos específicos relacionados con la ejecución de pruebas que abarcan variables temporales, relación de la masa o cantidad de higo deshidratado inicial y el volumen de agua que se usa para la rehidratación y temperatura. Además, se busca determinar la actividad de agua presente en el higo rehidratado bajo las condiciones óptimas, lo cual se convierte en un indicador para establecer la vida útil del producto resultante, este último fue uno de los objetivos específicos.

Con el propósito de alcanzar los objetivos trazados en esta investigación, se llevaron a cabo una serie de actividades que abarcaron tanto pruebas de laboratorio como experimentos en la fase de producción del producto final. Una de las etapas iniciales consistió en determinar la humedad inicial presente en el higo deshidratado, el cual sirve como materia prima para la Elaboración del producto. Para llevar a cabo esta evaluación, se analizaron tres muestras de higos deshidratados que presentaban notables diferencias en su contenido de humedad. Este análisis fue realizado en el laboratorio, siguiendo el procedimiento establecido por la normativa boliviana. Las muestras fueron codificadas de la siguiente manera: H-A correspondió al higo con la menor humedad aparente, H-B al higo con una humedad aparente intermedia, y finalmente H-C al higo considerado "fresco" debido a su mayor contenido de humedad aparente. Los resultados obtenidos revelaron que las humedades eran de 27.9%, 34.0% y 39.0% para las muestras H-A, H-B y H-C, respectivamente.

Con la caracterización de la materia prima, se dio paso a la realización de pruebas preliminares destinadas a establecer fundamentos para la determinación de variables y sus valores correspondientes. En este sentido, cada variedad de higo fue sometida al mismo tratamiento, introduciendo variaciones en un total de 4 tratamientos. Esto permitió evaluar qué tipo de higo se adapta de manera óptima al proceso de rehidratación, al mismo tiempo que cumple con las características esenciales para formar parte de la producción del nuevo producto.

Dentro de estas pruebas, se llevó a cabo una evaluación tanto de la humedad como del tiempo requerido para que los higos se establezcan después de la rehidratación. Además, se efectuó una evaluación cualitativa en relación con la adecuación de cada tipo de higo al proceso de producción del higo relleno bañado en chocolate. En esta fase, se determinó que después del proceso de rehidratación es necesario un período de reposo para que la fruta alcance la estabilidad deseada. Asimismo, se observó que cuanto mayor es la humedad lograda durante el proceso de rehidratación, mayor es el tiempo necesario para que la fruta se estabilice. Esto se debe a que es necesario reducir el contenido de humedad en el higo a un nivel que permita su manipulación eficiente en el proceso de producción. Por otro lado, en esta etapa se concluyó que el higo más adecuado para el proceso es el que corresponde a la codificación H-B, es decir, el higo con una humedad aproximada del 34%. En contraste, el higo deshidratado con menor humedad presenta resultados insatisfactorios debido a que sus paredes son muy frágiles, lo que dificulta la operación de inyección de relleno. Por otro lado, los higos deshidratados con una humedad cercana al 39% o 40% podrían adaptarse al proceso de producción, pero se tuvo en cuenta la disponibilidad de este tipo de higos, denominados frescos, ya que han sido deshidratados en los últimos tres meses. Dicha adquisición como materia prima a gran escala podría presentar desafíos para la empresa.

A partir de los resultados de las pruebas preliminares, se estableció que trabajaría con un diseño  $2^3$ , con los valores de  $87^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$  para la temperatura, 30 y 45min, y relación M:V de 1: 3 y 1: 4. El análisis de este diseño experimental se centró en el impacto de cada variable, revelando que el tiempo tiene la influencia más significativa tanto en la humedad como en el rendimiento del proceso. En comparación, las interacciones entre las diversas variables tienen cierta relevancia, pero no alcanzan la misma importancia que el factor tiempo. Mediante este

análisis, se generaron gráficas de contorno utilizando un software especializado, mostrando las relaciones entre humedad y rendimiento. Sin embargo, se observó una discrepancia en los resultados obtenidos con la relación 1: 3, la cual posiblemente se deba a una insuficiente tasa de evaporación del agua utilizada en la rehidratación de los higos. A raíz de estos hallazgos, se concluyó que la relación 1: 4 resulta adecuada para el proceso de rehidratación. Además, se llevó a cabo un análisis de optimización con la ayuda de un software especializado, que arrojó una solución con una temperatura de 70 °C y un tiempo de 30 minutos, además de M: V con un valor de 1: 4.

Debido a un requerimiento de la empresa para lograr obtener higos rehidratados en un tiempo menor, se procedió a reformular un nuevo diseño experimental. Para lograr esto, se llevó a cabo la construcción de isotermas, con el objetivo de obtener nuevos valores que guiarían la creación de una nueva matriz de diseño experimental. Estas isotermas se analizaron en términos de humedad y tiempo, y se determinó que los intervalos óptimos para lograr rendimientos más altos son 15 minutos a 87 °C y 30 minutos a 70 °C.

Utilizando este nuevo diseño, en una configuración 2<sup>2</sup>, se reevaluaron los efectos, interacciones y gráficos de contorno, generando resultados más coherentes en comparación con el diseño anterior 2<sup>3</sup>. Asimismo, se procedió a identificar las variables óptimas para el proceso de rehidratación. Como resultado, se determinó que las condiciones ideales son una temperatura de 87 °C, un tiempo de 15 minutos y una relación masa-volumen de 1:4. Estas configuraciones permiten cumplir con el requisito de obtener higos rehidratados en un tiempo más corto y con rendimientos satisfactorios.

Una vez establecidas las condiciones óptimas para la producción del higo relleno bañado en chocolate, se procedió a determinar la actividad de agua presente en el higo utilizado en la Elaboración del producto. Esta evaluación se realizó en el laboratorio utilizando el método estático. Tras el análisis correspondiente, se llegó a la conclusión de que la actividad de agua en el higo rehidratado destinado al producto es de 0.62. Es importante destacar que esta actividad de agua se encuentra en un umbral crítico, ya que a partir de un valor de 0.6 en actividad de agua se considera que hay riesgo de desarrollo de microorganismos, especialmente mohos.

Debido a esta característica, se llevó a cabo una evaluación de la vida útil del producto, teniendo en cuenta aspectos organolépticos, fisicoquímicos y microbiológicos. En el ámbito organoléptico, se sometió el producto a evaluaciones de olor, sabor, color, textura y apariencia a intervalos regulares, mediante un panel de jueces. A partir de este análisis, se pudo observar que la mayoría del panel detectó una disminución en las características del producto a partir de aproximadamente los 50 días. En la evaluación físico-química, se consideró el índice de peróxidos, siguiendo el mismo intervalo de tiempo que el análisis organoléptico. Se determinó que alrededor de los 50 días, el índice de peróxidos del dulce de leche en el relleno alcanza un valor de 4.44 meq/kg, lo que indica un inicio de un proceso de rancidez leve. Hacia los 70 días, se evidencia un estado más avanzado de rancidez, confirmado por el ensayo cualitativo de Kreiss, que mostró un resultado positivo a los 70 días.

Respecto al análisis microbiológico, el mismo fue limitado debido a que se realizó únicamente un análisis en periodos de tiempo respecto al crecimiento de mohos y levaduras en el producto, esto debido a que la normativa vigente respecto a estos microorganismos es la NB 32006 Ensayo de recuento de mohos y levaduras, contemplando estos únicamente a los mohos filamentosos, pero además el método no aísla a los distintos tipos de mohos a los cuales el higo es susceptible. Este análisis sirvió como un indicador mas no un factor determinante para establecer la vida útil, sin embargo, en los reportes se observó similitud en cuanto a los resultados obtenidos por las pruebas fisicoquímicas y organolépticas dando un tiempo aproximado de vida útil no mayor a los 50 días. Otra limitante en este aspecto es que no se cuenta con una normativa específica en cuanto a las condiciones microbiológicas que debe tener el higo, es decir valores límite de presencia o no de microorganismos.

Mediante la combinación de información, datos, modelos matemáticos y evaluaciones cualitativas y cuantitativas, se proporcionó una solución al problema inicial planteado.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

En consideración de la investigación realizada en este documento, se abre la posibilidad de explorar futuros estudios desde diversas perspectivas, con el objetivo de optimizar y ampliar los resultados obtenidos, así como mitigar los desafíos enfrentados durante las pruebas experimentales.

Una recomendación valiosa es abordar este tema a través de una óptica de optimización del proceso utilizando la metodología de superficie de respuesta. Aunque los valores obtenidos en este trabajo para la optimización se basaron en un diseño factorial, la implementación de una superficie de respuesta podría potenciar aún más esta optimización al considerar relaciones más complejas entre las variables.

Otra dirección prometedora sería considerar la adaptabilidad de la materia prima en el estudio. Esto implica investigar un subproceso en el cual los higos deshidratados con paredes celulares más frágiles puedan reconstituirse bajo ciertas condiciones, lo que los haría aptos para someterse al proceso de rehidratación y, posteriormente, ser utilizados en la producción de los higos rellenos. Esta perspectiva ampliaría las posibilidades y permitiría aprovechar distintos tipos de materia prima.

Por otro lado la evaluación de la vida útil del producto tomando en cuenta el desarrollo de los microorganismos que en específico atacan al higo y lo llevan a su putrefacción (*Rhizopus*, *Botrytis*, *Fusarium moniliforme*, etc), mediante métodos que permitan aislar a cada uno de ellos y de esta forma evaluar su influencia en la duración del producto, obteniéndose resultados más respaldados, además de esta forma evaluar cómo se podría controlar la proliferación de los mismos, con el uso de sustancias que inhiban su crecimiento o identificando el punto en el cual existió la contaminación del alimento y tomar medidas preventivas. Así mismo, se recomienda realizar una evaluación en cuanto a los mohos que afectan al cultivo, las higueras se ven afectadas por *Cytosporas* que generan cancro en los tallos o *Cerlotelium* que genera afección en las hojas de las higueras, estudiando si estas podrían afectar al fruto ya desarrollado.

Respecto al manejo que la empresa debe realizar con el higo, siendo su materia prima, se recomienda establecer un procedimiento de recepción de este, tomado en cuenta aspectos de almacenamiento con BPM's, control de calidad, ya que como se demostró con la investigación, la humedad inicial del higo deshidratado como materia prima, influye en la elaboración del producto final, pues una menor humedad implica paredes del higo más frágiles y susceptibles a quiebre. Debido a las limitaciones en cuanto a equipos que midan de forma directa esta humedad, se plantea realizar una evaluación de volumen específico del higo

deshidrato, de manera que se pueda estandarizar este aspecto como control de calidad de la materia prima, este procedimiento se plantea en el ANEXO E.

En cuanto a la institución académica, se sugiere considerar la aplicación de investigaciones como esta como casos de estudio en cursos pertinentes. Esto permitiría a los estudiantes analizar y resolver problemas reales de la industria durante su formación, equipándolos con habilidades y conocimientos prácticos para brindar soluciones eficientes y fundamentadas al sector industrial en el futuro.



## BIBLIOGRAFÍA

- Alapont, C., & Soriano, P. (2020). Guía para la determinación de la vida útil de los alimentos. In *Federación Empresarial de Agroalimentación de la Comunidad Valenciana* (Primera Ed). FEDACOVA.
- Badui Dergal, S. (2006). Química de los alimentos. In *Química de los alimentos* (Cuarta Ed). Pearson Educación.
- Barbosa, G., Fontana, A., Schmidt, S., & Labuza, T. (2007). Water Activity in Foods Fundamentals and Applications. In *Blackwell Publishing*.
- Bauzá Florit, C. (2017). *Fibra alimentaria : Caracterización fisicoquímica de variedades autóctonas de higo ( Ficus carica ) de las Islas Baleares*. Universidad de les Illes Balears.
- Bilbao-Sáinz, C., Andrés, A., & Fito, P. (2005). Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions. *Journal of Food Engineering*, 68(3), 369–376.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.06.012>
- Bird, B. R., Stewart, W., & Lightfoot, E. N. (2006). Fenómenos de transporte Fenómenos. *Limusa Wiley, Segunda Ed.*
- Cardona Serrate, F. (2019). Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones. *E.T.S. de Ingeniería Agronómica y Del Medio Natural Universitat Politècnica de València*, 1–7.
- Carrillo Inungaray, M. L., & Reyes Munguía, A. (2014). Vida útil de los alimentos. *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 2(3), 32.  
<https://doi.org/10.23913/ciba.v2i3.20>
- Casadomet, E., Senero, M., López, M., Pérez, F., Pérez, J., & Del moral, J. (2015). Parásitos, patógenos y fisiopatías de la higuera. *Frutales Transferencia Tecnológica*, 30–39.
- Catraró, M. (2014). “ *El Cultivo de la Higuera : Producción de higos y su deshidratación como método para el agregado de valor del producto .* ” Universidad Nacional del Litoral.

- Corzo, O., & Bracho, N. (2009). Aplicación del modelo de Weibull normalizado en la deshidratación osmótica de láminas de sardina. *Revista Científica de La Facultad de Ciencia Veterinarias*, XIX(August 2009), 400–407.
- Deepa, P., Sowndhararajan, K., Kim, S., & Park, S. J. (2018). A role of Ficus species in the management of diabetes mellitus: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, 215, 210–232. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.12.045>
- Gani, G., Fatima, T., Qadri, T., Jan, N., & Bashir, O. (2018). Phytochemistry and pharmacological activities of Ficus carica latex: a systematic review. *International Journal of Research in Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 3(2), 80–82. <https://doi.org/10.5246/jcps.2022.02.007>
- Geankoplis, C. (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias. In *Compañía Editorial Continental S.A.*
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2012). *Ánàlisis y diseño de experimentos* (Tercera Ed). McGraw Hill.
- Herrera, C., Bolaños, N., & Lutz, G. (2003). *Química de alimentos, manual de laboratorio* (UCR (ed.)).
- IIDEPROQ, F. D. I.-U. (2023). *Instituto de Investigaciones y Desarrollo de Procesos Químicos*. <https://iideproq.umsa.bo/>
- InfoAgro. (2020). *Cultivo del higo en México*. 28.
- Krokida, M. K., & Marinos-Kouris, D. (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 57, 1–7. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00214-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00214-5)
- Lopez-Quiroga, E., Prosapio, V., Fryer, P. J., Norton, I. T., & Bakalis, S. (2019). A model-based study of rehydration kinetics in freeze-dried tomatoes. *Energy Procedia*, 161, 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.060>
- Lupano, C. E. (2013). *Los Alimentos : Cambios Químicos Y Bioquímicos Por Procesamiento Y Almacenamiento* (E. UNLP (ed.); Primera Ed). Universidad Nacional de La Plata.
- Maldonado, S., Arnau, E., & Bertuzzi, M. A. (2010). Effect of temperature and pretreatment

- on water diffusion during rehydration of dehydrated mangoes. *Journal of Food Engineering*, 96(3), 333–341. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.017>
- Marín, E. B., Lemus, R. M., Flores, V. M., & Vega, A. G. (2006). LA REHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS DESHIDRATADOS. *Revista Chilena de Nutrición*, 33.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química 7ma Edición - Warren L. McCabe*.
- Melgarejo, P. (1999). El cultivo de la higuera (*Ficus carica* L.). In *Serie Agricultura* (Issue 1). IRAGRA S.A.
- Méndez, L. (2020). Manual de Análisis de Alimentos. In *Facultad de Química Farmacéutica Biológica de la Universidad Veracruzana*.
- Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. In *Limusa Wiley*.
- Muñiz, S. (2019). “*Estudio De Los Mecanismos De Transferencia De Solutos Durante La Deshidratación Osmótica De Manzana (Granny Smith)*”. Instituto Politécnico Nacional.
- Paredes, A. R. (2023). Elaboración de galletas comerciales reemplazando parcialmente con harina de hojas de la planta moringa oleífera para mejorar el contenido nutricional. In *Universidad Mayor de San Andrés*.
- Pashazadeh, H., Zannou, O., & Koca, I. (2020). Modeling of drying and rehydration kinetics of *Rosa pimpinellifolia* fruits: Toward formulation and optimization of a new tea with high antioxidant properties. *Journal of Food Process Engineering*, 43. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13486>
- Peleg, M. (1988). An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. *Journal of Food Science*, 53(4), 1214–1216.
- Portal Frutícola, . (n.d.). *Vida útil higos y brevas*. Portal Frutícola. Retrieved March 22, 2023, from <https://www.portalfruticola.com/noticias/2015/11/30/espana-logran-prolongar-vida-util-de-higos-y-brevas/?pdf=49016>
- Rasool, I. F. ul, Aziz, A., Khalid, W., Koraqi, H., Siddiqui, S. A., AL-Farga, A., Lai, W. F., & Ali, A. (2023). Industrial Application and Health Prospective of Fig (*Ficus carica*) By-

- Products. *Molecules*, 28(3). <https://doi.org/10.3390/molecules28030960>
- Revollo, M. (2022, March). Sipe Sipe lanza XIX Feria del Higo, la fruta que marca el final del verano. *Opinión*.
- Rodriguez, L. (2021). *Desarrollo de metodología para estudio de vida útil acelerada en Chocolates*. Universidad de Valladolid.
- Rurush, G. E., & Alvarado, M. del C. (2022). *ANÁLISIS DE LA CINÉTICA DE REHIDRATACIÓN USANDO EL MODELO DE PELEG DE LAS FRUTAS Y/O HORTALIZAS SECADAS POR DIFERENTES MÉTODOS*. Universidad Privada del Norte.
- Serrano, P. (2023). “*DESARROLLO DE CERVEZA ARTESANAL CON ADICIÓN DE SEMILLAS DE MOLLE*”. Universidad Mayor de San Andrés.
- Silva, R. S., Vendruscolo, J. L., & Tollares, R. P. (2011). Fig Ficus Carica L. Valor Nutricional. *Revista Brasileira Agrociência*, 17(3–4), 392–400.
- Stauffer, M. (2007). Conquering Shelf-life Issues. *The Manufacturing Confectioner*, february(February), 47–51.
- Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Ramírez-Ramírez, J. C., & Ulloa-Rangel, B. E. (2016). Modelación matemática de las cinéticas de hidratación a diferentes temperaturas de cuatro variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) producidas en México. *CienciaUAT*, 10, 52. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v10i2.542>
- Usquiano, I. (2013). *Evaluación de la Capacidad Antioxidante y Determinación de Compuestos Fenólicos a partir de Extractos de Frutas de los Valles de La Paz*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Vian, A., & Ocón, J. (1997). *Elementos de Ingeniería Química*.
- Zura-Bravo, L., Ah-Hen, K., Vega-Gálvez, A., García-Segovia, P., & Lemus-Mondaca, R. (2013). Effect of rehydration temperature on functional properties, antioxidant capacity and structural characteristics of apple (Granny Smith) slices in relation to mass transfer kinetics. *Journal of Food Process Engineering*, 36, 559–571.

<https://doi.org/10.1111/jfpe.12018>

## ANEXOS

### ANEXO A

#### CÓDIGO DE PROGRAMA PARA CONTROLADOR DE TEMPERATURA PID EN ARDUINO

```
#include <LiquidCrystal_I2C_Hangul.h>
#include <Wire.h> // Librería para comunicación I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Librería para pantalla LCD I2C
#include <Keypad.h> // Librería para teclado matricial
#include <DFRobotHighTemperatureSensor.h> //Librería para obtener el valor
de la temperatura del sensor
const float voltageRef = 5.000; //Fije el voltaje de la referencia
#define SENSOR_PIN A3 // Pin analógico para sensor de temperatura
#define TRIGGER_PIN 10 // Pin digital para control del disparo del triac
#define ZERO 2 // Pin para detección de cruce por zero

#define LCD_ADDRESS 0x27 // Dirección I2C de la pantalla LCD
#define LCD_COLUMNS 16 // Número de columnas en la pantalla LCD
#define LCD_ROWS 2 // Número de filas en la pantalla LCD

// Definir teclado matricial
const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 3;
char keys[ROWS][COLS] = {
    {'1', '2', '3'},
    {'4', '5', '6'},
    {'7', '8', '9'},
    {'*', '0', '#'}};
byte rowPins[ROWS] = {9, 8, 7, 6};
byte colPins[COLS] = {5, 4, 3};
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS);

DFRobotHighTemperature PT100 = DFRobotHighTemperature(voltageRef); //Define
un objeto PT100

// Definir pantalla LCD
LiquidCrystal_I2C lcd(LCD_ADDRESS, LCD_COLUMNS, LCD_ROWS);

// Variables de temperatura y tiempo
int currentTemperature = 0;
int targetTemperature = 0;
// Variable PID
float PID_error = 0;
float previous_error = 0;
float elapsedTime, Time, timePrev;
float PID_value = 0;
// PID constants
////////////////////////////////////
int kp = 10;
int ki = 70;
int kd = 15;
////////////////////////////////////
int PID_p = 0;
```

```

int PID_i = 0;
int PID_d = 0;
float last_kp = 0;
float last_ki = 0;
float last_kd = 0;

int PID_values_fixed = 0;
int state = 0;
int dutyCicle = 0;
// Función para obtener la temperatura actual del sensor
int getCurrentTemperature()
{
    int temperature = PT100.readTemperature(SENSOR_PIN); //Obtenemos la
temperatura
    return temperature;
}

// Funcion PID para el control de temperatura
void PID_control()
{
    PID_error = targetTemperature - currentTemperature + 3;
    PID_p = 0.01 * kp * PID_error;
    PID_i = 0.01 * PID_i + (ki * PID_error);
    timePrev = Time;
    Time = millis();
    elapsedTime = (Time - timePrev) / 1000;
    PID_d = 0.01 * kd * ((PID_error - previous_error) / elapsedTime);
    PID_value = PID_p + PID_i + PID_d;

    if (PID_value < 0)
    {
        PID_value = 0;
    }

    if (PID_value > 255)
    {
        PID_value = 255;
    }
    dutyCicle = map(PID_value,0,255,1000,2000); // Escalar el valor
    previous_error = PID_error; // Remember to store the previous error for
next loop.
}

// Función para controlar la estufa eléctrica
void controlHeater()
{
    if(state){
        delayMicroseconds(dutyCicle);
        digitalWrite(TRIGGER_PIN, HIGH);
        delayMicroseconds(10);
        digitalWrite(TRIGGER_PIN, LOW);
    }
}

// Función para mostrar la pantalla de inicio
void showHomeScreen()

```

```

    {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("TEMP OBJ:");
        lcd.print(targetTemperature);
        lcd.print("C");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("*:Change #:Init");
    }

// Función para mostrar la pantalla de Bienvenida
void showWelcomeScreen()
{
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("SISTEMA CONTROL");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("DE TEMPERATURA");
}

// Función para mostrar la pantalla de inicio
void showProcessScreen()
{
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("TEMP: ");
    lcd.print(currentTemperature);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("TEMP OBJ: ");
    lcd.print(targetTemperature);
    lcd.print("C");
}

// Función para mostrar la pantalla de ingreso de temperatura
void showSetTemperatureScreen()
{
    lcd.clear();
    lcd.print("INGRESE TEMP:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(targetTemperature);
}

void setup()
{
    pinMode(ZERO, INPUT);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ZERO), controlHeater, RISING);
    pinMode(TRIGGER_PIN, OUTPUT);
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    showWelcomeScreen();
    delay(1500);
    showHomeScreen();
}

void loop()
{

```

```

state = 0;
currentTemperature = getCurrentTemperature();
char key = keypad.getKey();
if (key == '*')
{
    targetTemperature = 0;
    showSetTemperatureScreen();
    while (true)
    {
        char key = keypad.getKey();
        if (key >= '0' && key <= '9')
        {
            targetTemperature = (targetTemperature * 10) + (key - '0');
            showSetTemperatureScreen();
        }
        else if (key == '#')
        {
            break;
        }
        else if (key == '*') {
            if (targetTemperature < 10) {
                targetTemperature = 0;
            }
            else {
                targetTemperature = targetTemperature / 10;
            }
            showSetTemperatureScreen();
        }
    }
    showHomeScreen();
}

else if (key == '#')
{
    showProcessScreen();
    unsigned long timeCurrent = millis();
    state = 1;
    while (true)
    {
        if ((millis() - timeCurrent) >= 1000) {
            timeCurrent = millis();
            showProcessScreen();
        }
        currentTemperature = getCurrentTemperature();
        PID_control();
    }
}
delay(50);
}

```

## ANEXO B

### CÓDIGO EN GOOGLE COLAB PARA T=87°C

```
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit

# Datos experimentales
t = np.array([0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40])
X_wt = np.array([0.3414, 0.4256, 0.5351, 0.6157, 0.6663, 0.7529, 0.7998,
0.8275, 0.8624])

# Definir la función de ajuste
def X_wt_modelo(t, X_0, k1, k2):
    return X_0 + t / (k1 + k2 * t)

# Ajustar los parámetros
parametros_iniciales = [0.3, 0.01, 0.01] # Valores iniciales aproximados
de X_0, k1 y k2
parametros_optimizados, covarianza = curve_fit(X_wt_modelo, t, X_wt,
p0=parametros_iniciales)

# Obtener los parámetros ajustados
X_0_ajustado, k1_ajustado, k2_ajustado = parametros_optimizados
# Calcular la predicción con los parámetros ajustados
X_wt_predicho = X_wt_modelo(t, X_0_ajustado, k1_ajustado, k2_ajustado)

# Calcular el valor de R2
residuos = X_wt - X_wt_predicho
SS_res = np.sum(residuos**2)
SS_tot = np.sum((X_wt - np.mean(X_wt))**2)
R_cuadrado = 1 - (SS_res / SS_tot)

print("Parámetros ajustados:")
print(f"X_0: {X_0_ajustado}")
print(f"k1: {k1_ajustado}")
print(f"k2: {k2_ajustado}")
print("Valor de R2:")
print(f"R2 = {R_cuadrado}")
```

### CÓDIGO EN GOOGLE COLAB PARA T=70°C

```
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit

# Datos experimentales
t = np.array([0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40])
X_wt = np.array([0.3397, 0.4063, 0.4973, 0.5661, 0.6172, 0.6605, 0.7171,
0.7648, 0.7759])

# Definir la función de ajuste
def X_wt_modelo(t, X_0, k1, k2):
    return X_0 + t / (k1 + k2 * t)
```

```

# Ajustar los parámetros
parametros_iniciales = [0.3, 0.01, 0.01] # Valores iniciales aproximados
de X_0, k1 y k2
parametros_optimizados, covarianza = curve_fit(X_wt_modelo, t, X_wt,
p0=parametros_iniciales)

# Obtener los parámetros ajustados
X_0_ajustado, k1_ajustado, k2_ajustado = parametros_optimizados

# Calcular la predicción con los parámetros ajustados
X_wt_predicho = X_wt_modelo(t, X_0_ajustado, k1_ajustado, k2_ajustado)

# Calcular el valor de R²
residuos = X_wt - X_wt_predicho
SS_res = np.sum(residuos**2)
SS_tot = np.sum((X_wt - np.mean(X_wt))**2)
R_cuadrado = 1 - (SS_res / SS_tot)

print("Parámetros ajustados:")
print(f"X_0: {X_0_ajustado}")
print(f"k1: {k1_ajustado}")
print(f"k2: {k2_ajustado}")

print("Valor de R²:")
print(f"R² = {R_cuadrado}")

```

## ANEXO C

### MODELO DE ENCUESTA PARA ANÁLISIS ORGANOLÉTICO

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA					
MARQUE EL TIEMPO DE EVALUACIÓN					
INICIAL	15 DIAS	30 DIAS	50 DIAS	70 DIAS	
Descripción del producto:					
Higo rehidratado, con relleno de 5g aprox de dulce de leche, bañado con cobertura de chocolate					
Características iniciales:	Interna	Externa			
<b>Apariencia</b>	centro de higo completamente relleno	ovaloide, completamente bañado			
<b>Color</b>	dulce de leche (café claro, no lechoso)	chocolate oscuro, sin blanqueamientos			
<b>Olor</b>	característico dulce de leche	característico chocolate			
<b>Sabor</b>	higo - dulce de leche	característico chocolate			
<b>Textura</b>	firme, no gomosa	firme			
ATRIBUTO					
PUNTAJE	NIVEL DE AGRADO	apariencia	color	olor	sabor
1	Me disgusta mucho				
2	Me disgusta medianamente				
3	No me gusta ni me disgusta				
4	Me gusta moderadamente				
5	Me gusta mucho				
INDIQUE OBSERVACIONES CUALITATIVAS					

## ANEXO D

### REPORTE DEL ENSAYO DE RECuento DE MOHOS Y LEVADURAS

A las 72 se evaluó la presencia de levaduras, en todos los casos se reporta el crecimiento a partir de las 120 horas, correspondiente a mohos.

REPORTE DE MOHOS Y LEVADURAS (colonias contabilizadas)					
		Dilución	-2	-3	-4
		Réplica 1	0	0	0
INICIO		Réplica 2	0	0	0
		Réplica 1	0	0	0
15 días		Réplica 2	0	0	0
		Réplica 1	2	0	0
30 días		Réplica 2	1	0	0
		Réplica 1	2	1	0
50 días		Réplica 2	3	0	0
		Réplica 1	5	1	0
70 días		Réplica 2	3	1	0
UFC/g					
		Dilución	-2	-3	-4
		Réplica 1	0	0	0
INICIO		Réplica 2	0	0	0
		Réplica 1	0	0	0
15 días		Réplica 2	0	0	0
		Réplica 1	200	0	0
30 días		Réplica 2	100	0	0
		Réplica 1	200	1000	0
50 días		Réplica 2	300	0	0
		Réplica 1	500	1000	0
70 días		Réplica 2	300	1000	0

## ANEXO E

### SUGERENCIA DE PROCEDIMIENTO PARA CONTROL DE CALIDAD EN RESEPCION DEL MATERIA PRIMA: HIGO DESHIDRATADO

En cada ingreso de materia prima: higo deshidratado, llenar el siguiente formulario para controlar datos de trazabilidad.

 FÁBRICA DE CHOCOLATES Y DULCES CÓNDOR SRL RECEPCIÓN- CONTROL DE CALIDAD EN MATERIA PRIMA MATERIA PRIMA: HIGO DESHIDRATADO						
RECEPCIÓN						
CLASIFICACIÓN:	MATERIA PRIMA			FECHA DE RECEPCIÓN		
NOMBRE:	HIGO DESHIDRATADO			DÍA	MES	AÑO
PROVEEDOR:						
CANTIDAD	PESO NETO	PESO BRUTO	DATOS PARA VOLUMEN ESPECÍFICO			
X	SACOS	[kg]	[kg]	m[g]	v[ml]	$v[\frac{l}{kg}]$
* volumen específico referencial 2[l/kg] (valores menores indican menor humedad en el higo)						

El llenado del formulario sigue los siguientes pasos:

1. Registro de proveedor y fecha de recepción
2. Pesaje de cada saco, registro de peso bruto
3. Determinación de peso neto
4. Evaluación cualitativa del higo, este no debe presentar paredes rotas, presencia de insectos, tallos o ramas, otro tipo de impurezas.
5. Control de volumen específico:
  - Selección de muestra aleatoria y representativa (técnica del cuarteo)
  - Agregar en un recipiente volumétrico, mismo que debe estar aforado o establecer un volumen aproximado.
  - Pesar la cantidad de higo que ocupo ese volumen
  - Determinar el volumen específico con la relación entre volumen y la masa

- Valores por encima de 2[l/kg] no se aceptan, puesto q son higos de paredes frágiles por bajo contenido de humedad.

Ejemplo:

Se estable un volumen de control de 1,5 litros en un recipiente volumétrico:



Se realiza el pesaje de todo el higo que ocupó ese volumen, se obtuvo 751.8 g



Se determina el volumen específico:

$$v = \frac{1.5 \text{ litros}}{0.7518 \text{ kilogramos}}$$
$$v = 1.995 \left[ \frac{l}{kg} \right]$$



MINISTERIO DE DESARROLLO PRODUCTIVO Y ECONOMÍA PLURAL



2023-TTES-1411-D-1

DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS
RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-3304/2023
La Paz, 1 de Noviembre del 2023

VISTOS:

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha 25 de Octubre del 2023, por MADELINE CLAUDIA MEDINA TORREZ con C.I. N° 9100838 LP, con número de trámite DA 1782/2023, señala la pretensión de inscripción del Trabajo Dirigido titulado: "PROCESO DE REHIDRATACIÓN DE HIGOS PARA RELLENO, CASO: FÁBRICA DE CHOCOLATES Y DULCES "CÓNDOR SRL"", cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en el Formulario de Declaración Jurada.

CONSIDERANDO

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el "Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusividad referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración".

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece "Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión". En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: "la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios".



"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

Oficina Central - La Paz
Av. Montes, N° 95,
entre Esp. Uruguay y
C. Balcón Miram.
Telf.: 29920 - 29921

Oficina - Santa Cruz
Av. Uruguay, Calle
prolongación Quijano,
N° 26, Edif. Bicentenario.
Telf.: 32979 - 3294936

Oficina - Cochabamba
Calle Bolivia, N° 727,
entre H. de Julio y Antezano.
Telf.: 414403 - 7044957

Oficina - El Alto
Av. Juan Pablo II, N° 2650
Edif. Multicentro El Centro
Calle Pío 2, Of. 18,
Zona H. de Julio.
Telf.: 244001 - 7044309

Oficina - Oruro
Calle Kilómetro 1, N° 908
Calle 104, Urología,
Zona Parque Bolívar.
Telf.: 7009423

Oficina - Tarija
Av. La Paz, entre
Calle San Trigo y Avenida
Edif. Santa Cruz, N° 943.
Telf.: 7205286

Oficina - Sucre
Calle 6 de Octubre N° 583,
entre Ayacucho y Junín.
Sucre Central, Of. 16.
Telf.: 4240288

Oficina - Potosí
Av. Villazón entre calles
Wenceslao Alza y San Albano
Edif. AM Salinas N° 242.
Alameda Potosí, Of. 10.
Telf.: 7204860

www.senapi.gob.bo

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*.

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ..."*, por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

**POR TANTO**

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

**RESUELVE:**



**INSCRIBIR** en el Registro de Tesis, Proyectos de Grado, Monografías y Otras Similares de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, el Trabajo Dirigido titulado: **"PROCESO DE REHIDRATACIÓN DE HIGOS PARA RELLENO, CASO: FÁBRICA DE CHOCOLATES Y DULCES "CÓNDOR SRL"**, a favor de la autora y titular: **MADLINE CLAUDIA MEDINA TORREZ** con C.I. Nº 9100838 LP, quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.

Abg. Carlos Alberto Soruco Arroyo  
DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS  
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

CASA/ata  
c.c Arch.



"2023 AÑO DE LA JUVENTUD HACIA EL BICENTENARIO"

Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, Nº 915,  
entre Esq. Uruguay y  
E. Botafón Miramón.  
Telf.: 225909  
225926 - 225931

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijano,  
Nº 96, Edif. Bicentenario.  
Telf.: 320193 - 3204996

Oficina - Cochabamba  
Calle Bolívar, Nº 737,  
entre H de Julio y Antezana.  
Telf.: 4144409 - 7204997

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, Nº 2560  
Edif. Multicentro El Cebo  
Uda. Pire 2, Of. 58,  
Zona 16 de Julio.  
Telf.: 704000 - 7204309

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, Nº 366  
caso esp. Urucagayña,  
Zona Parque Bolívar.  
Telf.: 72095873

Oficina - Tarija  
Av. La Paz, entre  
Calle Ciro Trigo y Avaresa  
Edif. Santa Clara, Nº 243.  
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre Nº 5837  
entre Ayacucho y Junín,  
Galería Central, Of. 14.  
Telf.: 4720288

Oficina - Potosí  
Av. Villazón entre calles  
Wenceslao Albo y San Alberto,  
Edif. AM. Salinas Nº 242,  
Primer Piso, Of. 12.  
Telf.: 7208060

DATOS DEL AUTOR:

AUTOR: MADELINE CLAUDIA MEDINA TORREZ

CORREO: [mademedtrrz@gmail.com](mailto:mademedtrrz@gmail.com)

CELULAR: 69845562