

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“DETERMINACIÓN DE LA VIDA EN ANAQUEL DE CAMELOS
DEPOSITADOS (CAMELOS DUROS) MEDIANTE PRUEBAS
ACELERADAS Y DE CAMPO”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL
TÍTULO DE INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

MARIA CRISTINA NOLE AGUERO

LIMA - PERÚ

2024

“DETERMINACIÓN DE LA VIDA EN ANAQUEL DE CAMELOS DEPOSITADOS (CAMELOS DUROS) MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS Y DE CAMPO”

14 de Marz 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	revistas.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Amira Touil, Roman Peczalski, Souad Timoumi, Fethi Zagrouba. "Influence of Air Temperature and Humidity on Dehydration Equilibria and Kinetics of Theophylline", <i>Journal of Pharmaceutics</i> , 2013 Publicación	1%
6	orcid.org Fuente de Internet	1%
7	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“DETERMINACIÓN DE LA VIDA EN ANAQUEL DE CAMELOS
DEPOSITADOS (CAMELOS DUROS) MEDIANTE PRUEBAS
ACELERADAS Y DE CAMPO”**

Presentado por:

MARIA CRISTINA NOLE AGUERO

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Luis F. Vargas Delgado, PhD.

PRESIDENTE

Dr. Milber O. Ureña Peralta

MIEMBRO

Mg. Sc. Diana Nolzco Cama

MIEMBRO

M. Sc. Walter F. Salas Valerio

ASESOR

Lima - Perú

2024

A Dios, a mis padres y a mi esposo

AGRADECIMIENTOS

- A Dios que me acompaña en cada etapa de mi vida.
- A mis padres Gerardo y Pilar por su apoyo incondicional.
- A mi esposo César por su apoyo y ánimo constante.
- A las chicas I&D Ángela y Cynthia, que me acompañaron en el proceso de desarrollo de este proyecto.
- ¡Y a los excelentes equipos de trabajo con los que he compartido!

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	CARAMELOS DUROS.....	3
2.2.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS CARAMELOS DUROS	3
2.2.1.	DEFINICIÓN	3
2.2.2.	CLASIFICACIÓN	3
2.2.3.	REQUISITOS GENERALES	4
2.2.4.	REQUISITOS ESPECÍFICOS	4
2.3.	FABRICACIÓN DE CARAMELOS DUROS	6
2.4.	MATERIAS PRIMAS EN LA ELABORACIÓN DE CARAMELOS DUROS	7
2.5.	PRINCIPALES ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN	8
2.6.	ELABORACIÓN DE CARAMELOS DEPOSITADOS	11
2.7.	DEFECTOS DE CALIDAD EN LOS CARAMELOS DUROS	16
2.8.	DETERMINACIÓN DE VIDA ÚTIL EN ALIMENTOS	18
2.9.	CALIDAD DE LOS ALIMENTOS DURANTE LA VIDA ÚTIL.....	21
2.10.	DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS CARAMELOS DUROS	23
III.	METODOLOGÍA	25
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN	25
3.2.	MATERIA PRIMA E INSUMOS.....	25
3.3.	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS	26
3.3.1.	MATERIALES	26
3.3.2.	EQUIPOS	27
3.3.3.	REACTIVOS	27
3.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS	28
3.4.1.	DETERMINACIÓN DE HUMEDAD	28
3.4.2.	DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES	28

3.4.3.	DETERMINACIÓN DE MOHOS Y LEVADURAS	28
3.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	28
3.5.1.	FLUJO DE PROCESO DE ELABORACIÓN DE CAMELOS DEPOSITADOS.....	28
3.5.2.	DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS	32
3.5.3.	DEFINICIÓN DE LA FORMULACIÓN	33
3.6.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	36
3.6.2.	ANÁLISIS SENSORIAL DEL SEGUNDO ENSAYO.....	39
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	41
4.2.	EVALUACIÓN DE PRODUCTO Y PROCESO	42
4.3.	DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS... 46	46
4.3.2.	DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS PROTOTIPOS PROPUESTOS EN EL SEGUNDO ENSAYO	67
4.3.3.	EVALUACIÓN SENSORIAL DE LOS PROTOTIPOS PROPUESTOS EN EL SEGUNDO ENSAYO	76
4.3.4.	DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS PROTOTIPOS PROPUESTOS EN EL TERCER ENSAYO	79
4.4.	DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO.....	90
4.4.1.	DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN LA CIUDAD DE PIURA	90
4.4.2.	DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN LA CIUDAD DE QUITOS	92
4.5.	APLICACIÓN DE LA COMPETENCIAS PROFESIONALES.....	94
V.	CONCLUSIONES	97
VI.	RECOMENDACIONES	99
VII.	BIBLIOGRAFÍA	100
VIII.	ANEXOS	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Requisitos fisicoquímicos para caramelos duros.....	5
Tabla 2: Requisitos microbiológicos para caramelos duros	5
Tabla 3: Principales métodos de cocción para caramelos duros	9
Tabla 4: Fórmulas tipo para la elaboración de caramelos depositados	12
Tabla 5: Prototipos evaluados para la reformulación de caramelo depositado	34
Tabla 6: Prototipos para reformulación de caramelo depositado con uso de ácido láctico evaluados	35
Tabla 7: Prototipo final para la reformulación de caramelo depositado.....	35
Tabla 8: Prototipos formulados en el primer ensayo, almacenados a 30, 40 y 50°C a 70% de humedad relativa.....	38
Tabla 9: Prototipos formulados en el segundo ensayo, almacenados a 30, 40 y 50°C a 70% de humedad relativa.....	38
Tabla 10: Prototipo formulado en el tercer ensayo, almacenados a 30, 40 y 50°C a 70% de humedad relativa.....	39
Tabla 11: Evaluación en campo de las muestras de la nueva formulación aprobada en los ensayos 1, 2 y 3	40
Tabla 12: Comparativo del jarabe de glucosa utilizado versus el jarabe de glucosa propuesto para la reformulación.....	41
Tabla 13: Evaluación de pegajosidad en el producto almacenado	43
Tabla 14: Producto defectuoso (Pegajoso) obtenido del muestreo.....	43
Tabla 15: Variación del contenido de humedad por tratamiento de una muestra control (producto no reformulado) para el primer ensayo	46
Tabla 16: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el producto control en el primer ensayo	48
Tabla 17: Determinación de la energía de activación (Ea), k ₂₀ (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del producto control en el primer ensayo.....	49
Tabla 18: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento de una muestra control (producto no reformulado) para el primer ensayo.....	49
Tabla 19: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el producto control en el primer ensayo	51

Tabla 20: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del producto control en el primer ensayo	52
Tabla 21: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°1 para el primer ensayo	52
Tabla 22: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°1 en el primer ensayo	54
Tabla 23: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°1 en el primer ensayo	54
Tabla 24: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°1 para el primer ensayo.....	55
Tabla 25: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°1 en el primer ensayo	56
Tabla 26: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°1 en el primer ensayo .	57
Tabla 27: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°2 para el primer ensayo	57
Tabla 28: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°2 en el primer ensayo	59
Tabla 29: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°2 en el primer ensayo	59
Tabla 30: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°2 para el primer ensayo.....	59
Tabla 31: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°2 en el primer ensayo	61
Tabla 32: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°2 en el primer ensayo .	61
Tabla 33: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°3 en el primer ensayo	62
Tabla 34: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°3 en el primer ensayo	63
Tabla 35: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°3 en el primer ensayo	63

Tabla 36: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°3 en el primer ensayo.....	64
Tabla 37: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°3 en el primer ensayo	65
Tabla 38: Determinación de la energía de activación (Ea), k ₂₀ (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°3 en el primer ensayo .	65
Tabla 39: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°1 para el segundo ensayo.....	68
Tabla 40: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°1 en el segundo ensayo.....	69
Tabla 41: Determinación de la energía de activación (Ea), k ₂₀ (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°1 en el segundo ensayo	69
Tabla 42: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°1 para el segundo ensayo	70
Tabla 43: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°1 en el segundo ensayo.....	71
Tabla 44: Determinación de la energía de activación (Ea), k ₂₀ (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°1 en el segundo ensayo	71
Tabla 45: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°2 para el segundo ensayo.....	72
Tabla 46: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°2 en el segundo ensayo.....	73
Tabla 47: Determinación de la energía de activación (Ea), k ₂₀ (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°2 en el segundo ensayo	73
Tabla 48: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°2 para el segundo ensayo	74
Tabla 49: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°2 en el segundo ensayo.....	75
Tabla 50: Determinación de la energía de activación (Ea), k ₂₀ (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°2 en el segundo ensayo	75
Tabla 51: Respuestas mínimas correctas para determinar diferencia estadística entre las muestras.....	76

Tabla 52: Respuestas mínimas correctas para determinar diferencia estadística entre las muestras	77
Tabla 53: Tipo de material de envase utilizado por prototipo evaluado	79
Tabla 54: Evaluación comparativa de la estructura Metalizada 15 vs Metalizada 20.....	79
Tabla 55: Estructura comparativa de la estructura Cristal 15 vs Cristal 20	80
Tabla 56: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°1 para tercer ensayo	80
Tabla 57: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°1 en el tercer ensayo	82
Tabla 58: Determinación de la energía de activación (Ea), k20 (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°1 en el tercer ensayo.....	82
Tabla 59: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°1 para el tercer ensayo	82
Tabla 60: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para prototipo N°1 en el tercer ensayo	84
Tabla 61: Determinación de la energía de activación (Ea), k20 (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°1 en el tercer ensayo...	84
Tabla 62: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°2 para el tercer ensayo	85
Tabla 63: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°2 en el tercer ensayo.....	86
Tabla 64: Determinación de la energía de activación (Ea), k20 (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°2 en el tercer ensayo.....	86
Tabla 65: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°2 para el tercer ensayo	87
Tabla 66: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para prototipo N°2 en el tercer ensayo	88
Tabla 67: Determinación de la energía de activación (Ea), k20 (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°2 en el tercer ensayo...	88
Tabla 68: Condiciones de temperatura y humedad relativa de la evaluación	90
Tabla 69: Variación de la humedad y azúcares reductores del producto durante el tiempo de evaluación.....	90
Tabla 70: Variación de la humedad y azúcares reductores del producto durante el tiempo de evaluación.....	92

Tabla 71: Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en el desempeño laboral.....	95
Tabla 72: Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en la reformulación de caramelos depositados y la determinación de su vida útil	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de cocción discontinua con vacío.....	10
Figura 2: Cocina de película descendente con vacío.....	13
Figura 3: Cocina de película ascendente con vacío.....	14
Figura 4: Sistema de adición de color, sabor y ácidos	15
Figura 5: Disposición de la tolva y bomba de depositado.....	16
Figura 6: Etapas de vida de un producto alimenticio	19
Figura 7: Representación esquemática del protocolo de prueba de vida útil	21
Figura 8: Relación del porcentaje de defectuosos con la temperatura de cocción	44
Figura 9: Defectos críticos de pegajosidad encontrados en producto traslucido.....	45
Figura 10: Defectos críticos de pegajosidad encontrados en producto no traslucido.....	45
Figura 11: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del producto control a 30, 40 y 50 °C.....	47
Figura 12: Variación del Ln (humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del producto control.....	48
Figura 13: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del producto control a 30, 40 y 50 °C	50
Figura 14: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del producto control.....	51
Figura 15: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C	53
Figura 16: Variación del Ln (humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1	53
Figura 17: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C.....	55
Figura 18: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1	56
Figura 19: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C	58
Figura 20: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2.....	58

Figura 21: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C.....	60
Figura 22: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°2.....	61
Figura 23: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°3 a 30, 40 y 50 °C.....	62
Figura 24: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°3.....	63
Figura 25: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°3 a 30, 40 y 50 °C.....	64
Figura 26: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°3.....	65
Figura 27: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C.....	68
Figura 28: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1.....	69
Figura 29: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C.....	70
Figura 30: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°1.....	71
Figura 31: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C.....	72
Figura 32: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2.....	73
Figura 33: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C.....	74
Figura 34: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°2.....	75
Figura 35: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C.....	81
Figura 36: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1.....	81
Figura 37: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C.....	83

Figura 38: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°1	83
Figura 39: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C	85
Figura 40: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2.....	86
Figura 41: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C	87
Figura 42. Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°2	88
Figura 43: Variación del contenido de humedad.....	91
Figura 44: Variación del contenido de azúcares reductores	91
Figura 45: Comparativo del producto control vs el producto reformulado a los 360 días de evaluación.....	92
Figura 46: Variación del contenido de humedad.....	93
Figura 47: Variación del contenido de azúcares reductores	93
Figura 48: Comparativo del producto control vs el producto reformulado a los 360 días de evaluación.....	94

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: TABLA DE INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL.....	103
ANEXO 2: MODELO DE LAYOUT DE UNA LÍNEA DE FABRICACIÓN PARA CARAMELOS DEPOSITADOS	104

RESUMEN

Los productos de confitería al tener un alto contenido de azúcar en su formulación son menos propensos a deterioro por agentes biológicos, por lo que la estabilidad durante el almacenamiento de estos productos depende principalmente de los cambios fisicoquímicos que influyen directamente en la calidad sensorial del producto. El presente trabajo de investigación plantea la estimación de la vida en anaquel de una nueva formulación de caramelo depositado empleando pruebas aceleradas y pruebas de campo en las regiones de Piura e Iquitos. Los prototipos de caramelos depositados reformulados con el uso de insumos como jarabe de glucosa con menor DE y ácido láctico, fueron sometidos a diferentes condiciones de almacenamiento de 30, 40 y 50°C a 70 por ciento de humedad relativa en cámaras individuales. Las variables que se evaluaron fueron: humedad y azúcares reductores, de las cuales mediante el modelo de Arrhenius se obtuvo el tiempo de vida útil por cada prototipo evaluado, en cada ensayo propuesto. Finalmente, de los tres ensayos realizados se determinó la formulación óptima con un tiempo de vida en anaquel de 18 meses, manteniendo sus características físicas, sensoriales y microbiológicas; esta última dentro de los límites establecidos por la NTP con resultados menores a 10 ufc/g al inicio y final del almacenamiento.

Palabras clave: Vida útil, caramelos depositados, pruebas aceleradas, pruebas de campo, reformulación, parámetros críticos

ABSTRACT

The confectionery products are less likely quality deterioration due to biological agents because have a high content of sugar in their formulation, so the storage stability mainly depends on the physical-chemical changes that directly influences on product sensory quality. This research work proposed the estimation shelf life with a new candy deposited formulation using accelerated and field trials in regions with humid and hot climates such as Piura an Iquitos. The candy depositing prototypes were reformulation with glucose syrup with low content of DE and lactic acid. There were subjects under different storage conditions of 30, 40 y 50°C and 70 percent of humidity on singles storages for each condition. The parameter which was evaluated: humidity and depleted sugars, then with Arrhenius model obtained the shelf life for each prototype and trials proposed. Finally, the optimum formulation was determined with 18 months useful life, keeping physical, sensorial, and microbiological conditions; This fall withing the NTP limits, with results below to 10 ufc/g from begins to storage ends.

Keywords: Shelf life, deposited candy, accelerated testing, field testing, reformulation, critical parameters.

I. INTRODUCCIÓN

Los principales ingredientes para la elaboración de los caramelos duros son azúcar, jarabe de glucosa y/o azúcar invertido; son productos de una masa de sacarosa no cristalizada a altas concentraciones que adquiere consistencia sólida cuando se enfría (Jiménez y Yañez, 2016). Dependiendo de la manipulación de la masa, relación sacarosa – humedad y adición de otros ingredientes, se obtienen diferentes texturas (Campo *et al.*, 2018).

Los caramelos depositados, son caramelos duros que no cuentan con un proceso de amasado o manipulación de la masa, por lo que dependen de la relación correcta de sacarosa–agua para obtener una textura lisa y cristalina. La determinación de los parámetros como: contenido de agua, contenido de azúcares, temperatura óptima de almacenamiento y el empaque son necesarios para establecer el tiempo de vida útil de un caramelo depositado.

Tres de los factores principales que influyen en la percepción de los dulces por parte del consumidor son: la textura, la apariencia y la estabilidad durante el almacenamiento (Tan y Kerr, 2017).

Los principales defectos que influyen en la calidad de los caramelos duros durante el almacenamiento son:

- Inversión de la sacarosa por acción del ácido presente sobre los azúcares reductores en condiciones de temperatura y humedad.
- Pegajosidad por absorción de humedad, vinculada al contenido de azúcares reductores, inversión en el proceso de cocción, contenido de glucosa empleado y calidad de la envoltura.
- Granulosidad por cristalización del azúcar, debido a la supersaturación de la solución, o condensación por enfriamiento lento (Jiménez y Yañez, 2016).

Estos defectos identificados en el almacenamiento y en la vida en anaquel fueron motivo de reclamos de consumidores, rechazos por producto no conforme, reprocesos de productos que se deterioraban en el almacén de producto terminado de la empresa y de los clientes, devoluciones y pérdidas de venta; a esto se añadió la limitación de las ventas a ciudades o regiones con climas secos, lo cual afectó directamente el posicionamiento de la marca y rentabilidad del producto en el mercado.

Con el objetivo de reducir los defectos de calidad y las pérdidas en proceso productivo y por devoluciones, se planteó determinar la vida en anaquel de una nueva formulación en condiciones aceleradas de almacenamiento y de campo en ciudades con climas calurosos y de alta humedad. Para esto se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar las materias primas e insumos utilizados en la elaboración de caramelos depositados.
- Identificar los principales defectos en la vida útil de los caramelos depositados, así como las etapas y parámetros del proceso de producción que influyen directamente en el deterioro del producto.
- Elaborar y definir una nueva formulación para caramelos depositados con uso de insumos alternativos: Jarabe de glucosa y ácido láctico.
- Realizar estudios de vida útil mediante pruebas aceleradas y de campo para las nuevas formulaciones y empaques.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CAMELOS DUROS

Son dulces que contienen azúcares no cristalinos, una elevada concentración de azúcar y bajo contenido de humedad. Están elaborados por ebullición de soluciones azucaradas a altas temperaturas para eliminar la mayor cantidad de agua que se utiliza para disolución (Jiménez y Yañez, 2016). Generalmente están compuestos de azúcar, jarabe de glucosa y/o azúcar invertido (Meiners *et al.*, 1984).

Visualmente son sólidos, sin embargo, realmente son líquidos no cristalinos subenfriados por debajo de su punto de fusión, por lo que han adquirido características de sólido sin cristalizar. Es decir, son productos en estado vítreo (Cardoso y Abreu, 2004). Su consistencia dura y vidriosa se debe principalmente a la concentración del jarabe y la aplicación de calor, lo cual evita que fluyan a temperatura ambiente (Jiménez y Yañez, 2016).

2.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS CAMELOS DUROS

2.2.1. DEFINICIÓN

Son los productos de consistencia sólida o semisólida obtenidos por cocimiento de un almíbar de azúcares y agua, con agregado o no de otras sustancias y aditivos permitidos.

2.2.2. CLASIFICACIÓN

Por su proceso de fabricación estos productos se clasifican en

- Caramelos duros: Simples o rellenos
- Caramelos blandos

2.2.3. REQUISITOS GENERALES

- Los caramelos duros no deben tener consistencia pegajosa, ni presentar sabores extraños o apariencia que evidencie deterioro del producto.
- El caramelo duro relleno no debe estar partido ni evidenciar fugas del relleno.
- El producto y su empaque deben garantizar la duración de éste, de modo que cumpla con sus características de calidad, siempre y cuando se respeten las condiciones adecuadas de almacenamiento, manipulación y transporte indicadas por el fabricante.
- Como ingredientes opcionales se permite la adición de los siguientes:
Leche y productos lácteos, café, almidones grado alimenticio, chocolate, cacao y sus derivados, miel, frutos secos, gelatina, compuestos minerales, sal, proteínas, vitaminas, otros ingredientes.
- En la elaboración de los caramelos duros se permite la adición de saborizantes, colorantes, acidulantes, conservantes y otros aditivos permitidos por la autoridad sanitaria competente o por la Comisión del Codex Alimentarius (NTP 208.001, 2011).

2.2.4. REQUISITOS ESPECÍFICOS

Los caramelos duros deberán cumplir con los requisitos indicados en las Tabla 1 y 2

Tabla 1: Requisitos fisicoquímicos para caramelos duros

Requisitos	Valor máximo
Humedad, en % (m/m)	4.0
Azúcares reductores totales, en % (m/m)	28.0
Dióxido de azufre, en mg/ kg	15.0
Arsénico expresado como As, en mg/ kg	1.0
Plomo expresado como Pb, en mg/ kg	0.5
Cobre expresado como Cu, en mg/ kg	5.0

FUENTE: NTP 208.101 (2019).

Adicional a ello, la NTP 208.001 1982 (Revisada el 2011), detalla los siguientes requisitos para caramelos:

- El contenido de sacarosa será el siguiente
Caramelos finos: 68%
Caramelos corrientes: 100%
- La humedad máxima en porcentaje en masa será la siguiente:
Caramelos duros: 2%
Caramelos blandos: 8%
Caramelos rellenos: 10%

Tabla 2: Requisitos microbiológicos para caramelos duros

Requisito	Categoría	Clase	n	C	m	M
Aerobios mesófilos	2	3	5	2	10 ²	5x10 ²
Mohos	2	3	5	2	10	5x10

FUENTE: NTP 208.101 (2019).

Donde:

n = número de muestras por examinar

m = índice máximo permisible para identificar el nivel de buena calidad

M = índice máximo permisible para identificar el nivel aceptable de calidad

C = número máximo de muestras permisibles con resultados entre m y M.

< = léase menor a ...

NOTA: Debe expresarse en (UFC/g)

2.3. FABRICACIÓN DE CAMELOS DUROS

Para la producción de caramelos duros se deben considerar los siguientes factores: un balance adecuado de materia para la formulación, la preparación y mezcla de los ingredientes, la concentración de la mezcla hasta la temperatura deseada, el enfriamiento, el moldeo y el empaque (Rodríguez y Bastidas, 2009). Meiners *et al.*, (1984) mencionan que los principales factores en la fabricación de los caramelos de larga conservación son: las materias primas a usar (azúcar, jarabe de glucosa y agua) y los procesos de precocción y cocción

La elaboración de caramelos duros consiste básicamente en calentar a temperaturas relativamente altas, una solución de azúcar y agua, con la finalidad de producir la caramelización de azúcar y la evaporación de la mayor parte del agua (Jiménez y Yañez, 2016).

Encalada (2011) recomienda la elaboración de caramelos duros con un contenido de sacarosa de 54%, jarabe de glucosa de 19% y agua en 27%, para obtener un producto con el contenido de humedad residual que evite defectos de pegajosidad y granulometría.

2.4. MATERIAS PRIMAS EN LA ELABORACIÓN DE CAMELOS DUROS

2.4.1. AZÚCAR O SACAROSA

La sacarosa es el ingrediente principal en los productos de confitería, es un disacárido que puede desdoblarse en dos azúcares simples o monosacáridos (dextrosa o glucosa y levulosa o fructosa) con facilidad. Esta propiedad es la base de la confitería, y puede darse por acción enzimática o por calentamiento con un ácido (Malagón, 2007). Adicional a ello, Meiners *et al.* (1984) indican que la sacarosa de mejor calidad para uso en confitería es la blanca y refinada, por contener menos impurezas y ser de mayor granulometría.

La A.A.P.P.A (2004), menciona que la correcta disolución del azúcar en la cantidad exacta de agua, seguido del proceso de evaporación y adición de agentes antirrecristalizantes conlleva a una licuefacción concentrada que después de ser saponificada y moldeada se enfría para alcanzar el estado vítreo.

2.4.2. JARABE DE GLUCOSA

El jarabe de glucosa es una solución concentrada de sacáridos obtenida del almidón de maíz, elaborado por hidrólisis ácida o enzimática del almidón (Jiménez y Yañez, 2016). Gaitan y Vassia (2015) mencionan dos funciones importantes de la glucosa en producción de caramelos duros: evitar la cristalización de la sacarosa por su contenido en azúcares reductores; y por su contenido en azúcares superiores, y aumentar en tal manera la viscosidad del medio que retarda extraordinariamente el reordenamiento de los cristales de sacarosa, que es lo que termina en granulación.

Malagón (2007) clasifica el jarabe de glucosa de acuerdo con su contenido de dextrosa equivalente y recomienda el uso en confitería del jarabe que se conoce como “jarabe de glucosa regular” y tiene aproximadamente 40 DE. Este jarabe reduce el riesgo de granulación a temperaturas altas de ebullición.

2.4.3. ÁCIDOS

Los ácidos son aditivos utilizados en procesos de confitería, ya que su comportamiento químico modifica las propiedades funcionales de los azúcares; sin embargo, no se deben adicionar antes de la etapa de cocción ya que aceleran el proceso de inversión de la sacarosa, incrementando la higroscopicidad de los productos. El efecto en el caramelo es pegajosidad, o en casos graves “llorado” del caramelo (Malagón, 2007). Gaitan y Vassia (2015) mencionan que una excesiva producción de azúcar invertido incrementa el defecto conocido como *cold flow*, lo cual significa que los caramelos absorben agua del aire y se hacen pegajosos perdiendo su forma y adhiriéndose al paladar y al envase.

2.5. PRINCIPALES ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN

2.5.1. PRECOCCIÓN

Es la etapa previa a la cocción y consiste en llevar la mezcla de azúcar, glucosa y agua hasta temperaturas mayores a 100°C e inferiores a 115°C; tiene la finalidad de lograr una correcta disolución del azúcar para evitar procesos de recristalización por presencia de cristales de azúcar que absorben moléculas de azúcar ya disueltas en el medio. Adicionar el jarabe de glucosa a una temperatura menor provocaría un mayor tiempo de cocción, influyendo negativamente en la calidad del producto y aumento de los costos de energía (Meiners *et al.*, 1984).

2.5.2. COCCIÓN

Esta etapa consiste principalmente en concentrar la mezcla obtenida de la precocción, estas mezclas contienen agua en suficiente cantidad para disolver los cristales de sacarosa. Se realiza a temperaturas de hasta 130 – 150°C, cuidando de que el aumento de la temperatura no sea demasiado rápido luego de los 145 °C, para evitar posible caramelización en los bordes al llegar a los 150 °C (Gaitan y Vassia, 2015).

Existen diferentes métodos de cocción: Cocción a fuego abierto, cocinadoras por *batch* a vacío, cocinadoras discontinuas y continuas con vacío, cocinadoras automáticas y cocinadoras microfilm (Meiners *et al.*, 1984). Ver Tabla 3.

Tabla 3: Principales métodos de cocción para caramelos duros

Método de Cocción	Temperatura de cocción (°C)	Tiempo de cocción	% de Inversión	Temperatura de extracción de la masa de la coccinadora (°C)
Cocción a cazo o paila abierta	140 – 145	30 – 35 min	4.8 – 8.0	130 – 135
Cocción a cazo o paila abierta con vacío	135 – 140	20 – 25 min	3.0 – 5.0	105 – 110
Cocimiento discontinuo con vacío	140 – 145	12 – 15 min	1.0 – 3.0	110 – 115
Cocción continua con serpentines	140 – 145	1.0 – 1.5 min	0.5 – 2.5	115 – 120
Cocción por capa fina	148 – 152	6 – 8 s	<0.3	130 – 135

FUENTE: Martinez (2016)

2.5.3. COCCIÓN A FUEGO ABIERTO

Este sistema de cocción consistente en una transmisión directa del calor de la llama al producto de cocción, lo cual origina una caramelización y sabor intenso (Meiners *et al.*, 1984). Se obtiene como resultado un caramelo con humedad residual de 5%

aproximadamente y una inversión mayor a 4,8%, lo cual se predice en una vida útil de 3 a 4 meses (Martinez, 2016).

Martinez (2016) no recomienda el moldeo por depositado en caramelos con un proceso de cocción a fuego abierto, ya que la adición de ácidos se deberá realizar a temperaturas mayores a 110°C, lo cual repercute en una inversión mayor a 20% de la que se da por troquelado, obteniendo un producto altamente higroscópico.

2.5.4. COCCIÓN A PAILA ABIERTA CON VACÍO Y COCCIÓN DISCONTINUA CON VACÍO

La cocción con vacío consiste en incorporar a la cocción a fuego abierto una bomba de aire húmedo cocinándose bajo vacío, o sometiendo la masa a una siguiente etapa con efecto de vacío recomendado de entre 2 a 5 min a 52 cm Hg. Esto permite reducir el grado y tiempo de cocción final, permitiendo el aumento de agentes de inversión (Meiners *et al.*, 1984). (ver Figura 1).

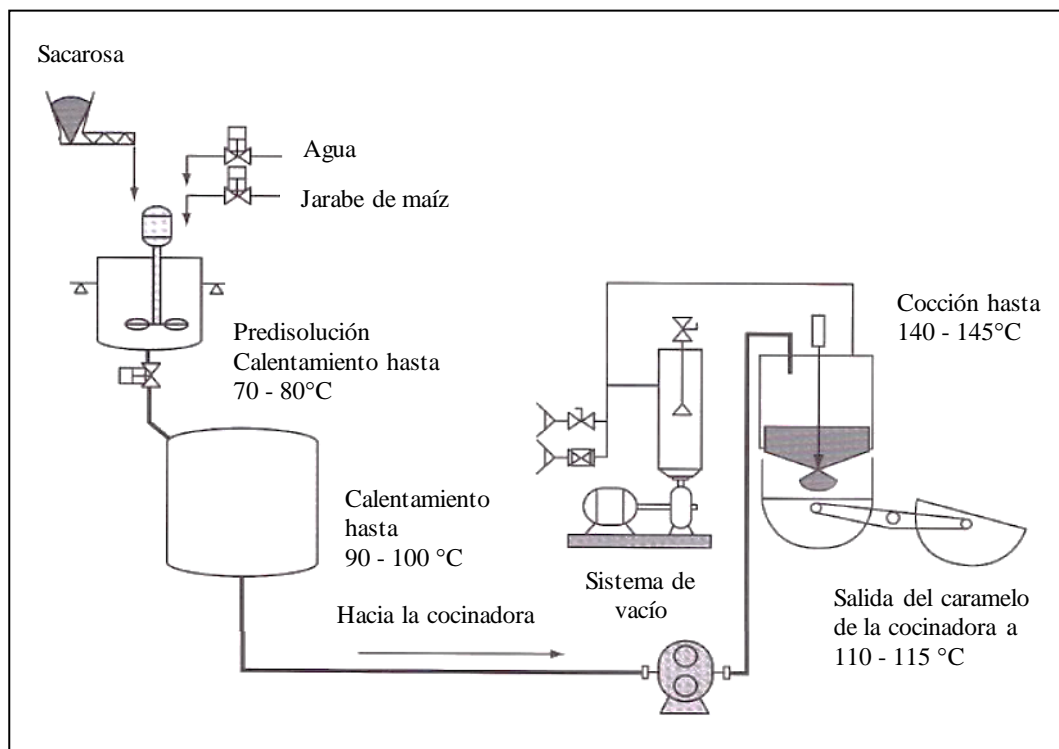


Figura 1: Diagrama de cocción discontinua con vacío

FUENTE: Martinez (2016)

2.5.5. COCCIÓN CONTINUA Y AUTOMÁTICA

A diferencia de la cocción continua o de serpentín, la cocción automática opera con interrupción por un sistema de 3 cámaras, en la primera se vierte el azúcar en agua precalentada; la mezcla en continuo pasa a una segunda cámara donde se efectúa la cocción y al alcanzar la temperatura de 110°C pasa a la tercera cámara donde se inyecta el jarabe de glucosa. En este tipo de cocción automática no se realiza el proceso de cocción bajo efectos de vacío (Meiners *et al.*, 1984).

2.5.6. COCCIÓN MICROFILM O DE CAPA FINA

En la cocción microfilm o de capa fina, la solución de azúcar es bombeada desde arriba al tubo de cocción, inyectándose sobre la superficie interior del mismo. Una película fina de masa pasa sobre la superficie interior del tubo de cocción, el cual es calentado por vapor a temperaturas de 155 – 160 °C por 7 a 8 segundos (Meiners *et al.*, 1984).

2.6. ELABORACIÓN DE CAMELOS DEPOSITADOS

Los caramelos depositados se fabrican en moldes con un revestimiento especial que imparten un tamaño y forma uniforme, y un acabado superficial brillante. Se consideran un producto Premium y esta característica se ha llegado a considerar como un indicador de calidad, además de tener una excelente liberación de sabor y sensación en boca suave (Bond y Prange, 2012).

La producción de caramelos duros depositados es altamente eficiente, con tasas de desperdicio muy bajas y no requieren procesamiento adicional; pudiendo pasar directamente a la etapa de envasado (Bond y Prange, 2012). En el Anexo 2, se muestra un modelo de Layout de una línea de fabricación para caramelos depositados.

2.6.1. FORMULACIONES BÁSICAS DE CAMELOS DEPOSITADOS

La mayoría de los caramelos depositados se dividen en tres categorías generales:

- Caramelos transparentes: contienen azúcar, jarabe de glucosa y agua. Pueden ser de colores con sabor a frutas, con capas o rayas múltiples.
- Caramelos de crema: este tipo de caramelos depositados contienen alrededor de 5% de nata con un contenido alto en grasas y bajo en proteínas para evitar que el almíbar se caramelice.
- Caramelos con alto contenido de leche: contienen un nivel de proteína por encima de 1.7% para garantizar que se lleve a cabo la caramelización. A veces se recomienda aumentar el tiempo de residencia entre la olla y el depositante para que se desarrolle el color (Bond y Prange, 2012).

En la Tabla 4 se muestran las diferentes formulaciones base para la obtención de caramelo depositado.

Tabla 4: Fórmulas tipo para la elaboración de caramelos depositados

Ingredientes	Caramelo Transparente	Caramelo de crema	Caramelo de leche
Azúcar	46%	41%	39%
Jarabe de Glucosa	42%	38%	35%
Agua	12%	10.5%	8%
Aceite	-	5%	-
Crema fresca	-	-	5%
Manteca	-	5%	8%
Leche condensada	-	-	2%
Suero en Polvo	-	-	2%
Emulsificante	-	0.25%	0.5%
Sal	-	0.25%	0.5%

FUENTE: Bond y Prange, (2012).

2.6.2. ETAPAS DEL PROCESO DE ELABORACIÓN

a. Cocción

La cocción se considera en dos etapas: disolución de azúcar granulado y evaporación del agua residual para llegar a los sólidos requeridos. La etapa de disolución debe tener un tiempo de retención que garantice la disolución total del azúcar. La evaporación a sólidos finales del jarabe debe realizarse en corto tiempo para evitar la degradación por calor y la inversión, lo cual generará problemas de flujo frío y pegajosidad en la vida útil.

Las cocinas mayormente utilizadas en la producción de caramelos depositados son las de película descendente o de película ascendente, ya que cuentan con elementos giratorios que raspan el jarabe contra el tubo de cocción creando suficiente turbulencia para evitar sobrecocción, además que pueden funcionar con vacío el cual se aplica al jarabe mientras tiene lugar la evaporación ayudando a minimizar la inversión del proceso (Bond y Prange, 2012). En las Figuras 2 y 3 se muestran ejemplos de estos tipos de equipos de cocción.

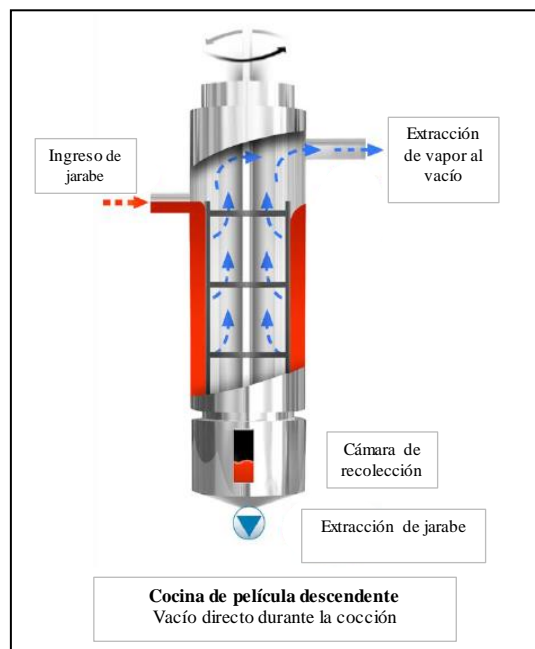


Figura 2: Cocina de película descendente con vacío

FUENTE: Bond y Prange (2012)

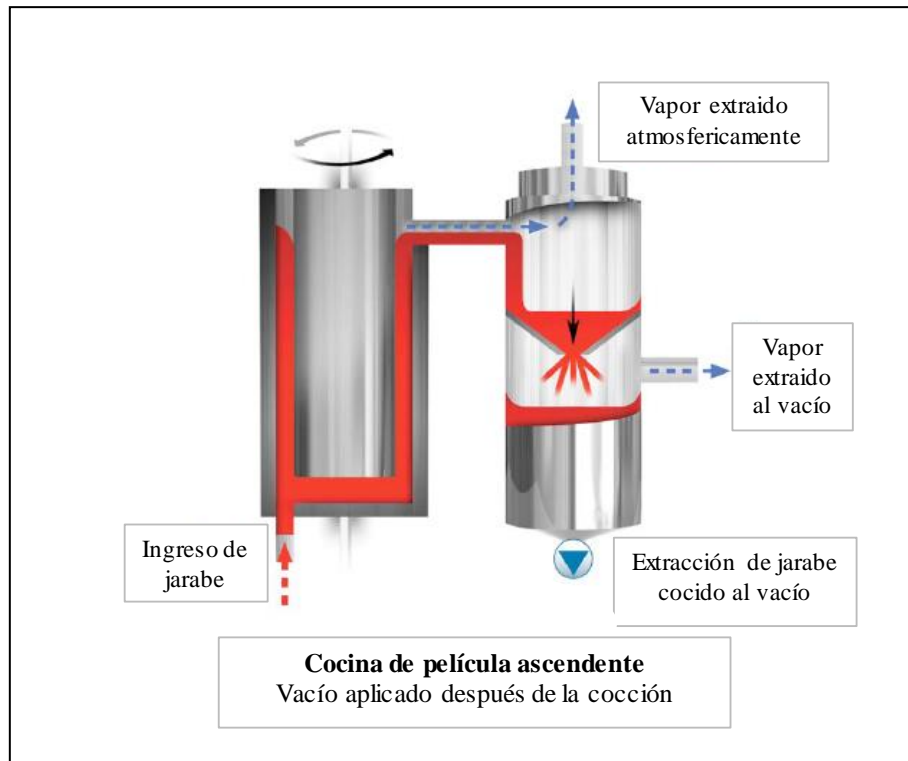


Figura 3: Cocina de película ascendente con vacío

FUENTE: Bond y Prange (2012)

b. Adición de color, sabor y ácido

Es importante que las adiciones a este tipo de productos sean adecuadas, principalmente la adición de ácido. Se recomienda el uso de 0.5 a 2% de ácido láctico tamponado, ya que el uso de otros ácidos como el málico, cítrico y tartárico aumenta drásticamente el grado de inversión y la posibilidad de otros problemas. Los demás aditivos color y sabor se deben agregar con un disolvente líquido (Bond y Prange, 2012).

Las adiciones de estos líquidos se bombean a través de mezcladores en línea estáticos o dinámicos y se alimentan directamente a las tolvas de depositado (Bond y Prange, 2012). Ver Figura 4.

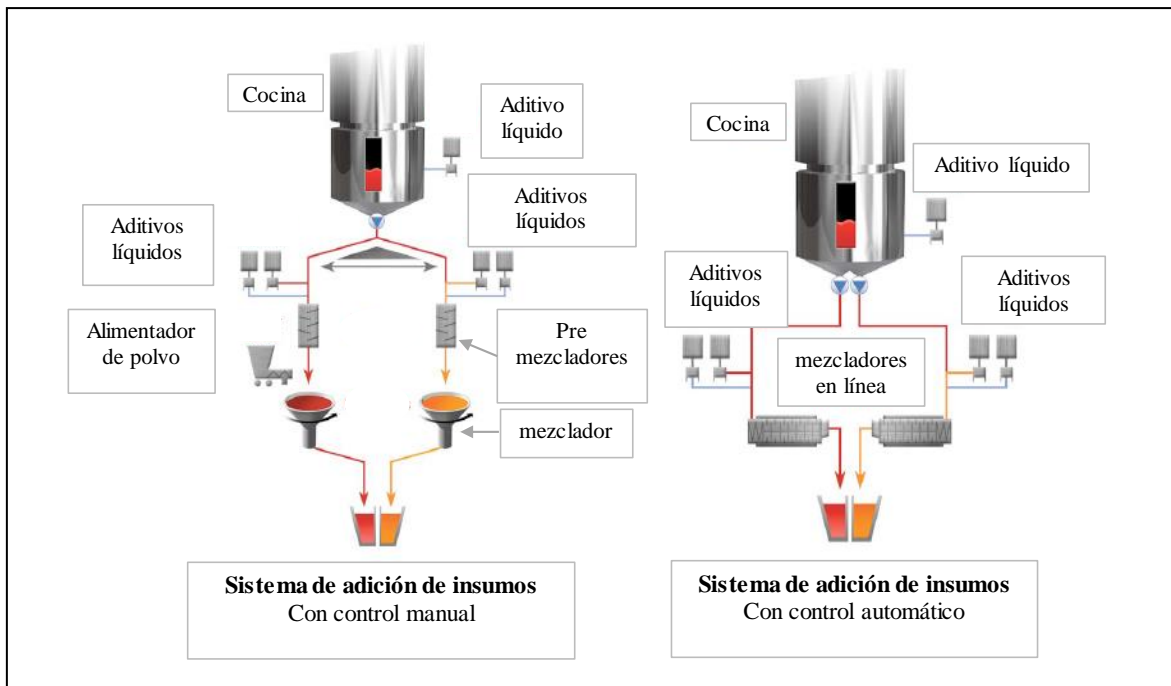


Figura 4: Sistema de adición de color, sabor y ácidos

FUENTE: Bond y Prange (2012)

c. Depositado

El caramelo resultante de la cocción con sus adiciones es alimentado hacia las tolvas de depositado, debiéndose controlar la temperatura de la tolva por debajo del punto de ebullición del caramelo para evitar que vuelva a hervir y se formen burbujas (Bond y Prange, 2012).

El depositado del caramelo hacia los moldes (Figura 5) se hace por empuje con un pistón, permitiendo que el jarabe ingrese desde la tolva, estos pistones están conectados a una bomba por encima de la cual se mueven hacia arriba y abajo (Bond y Prange, 2012).

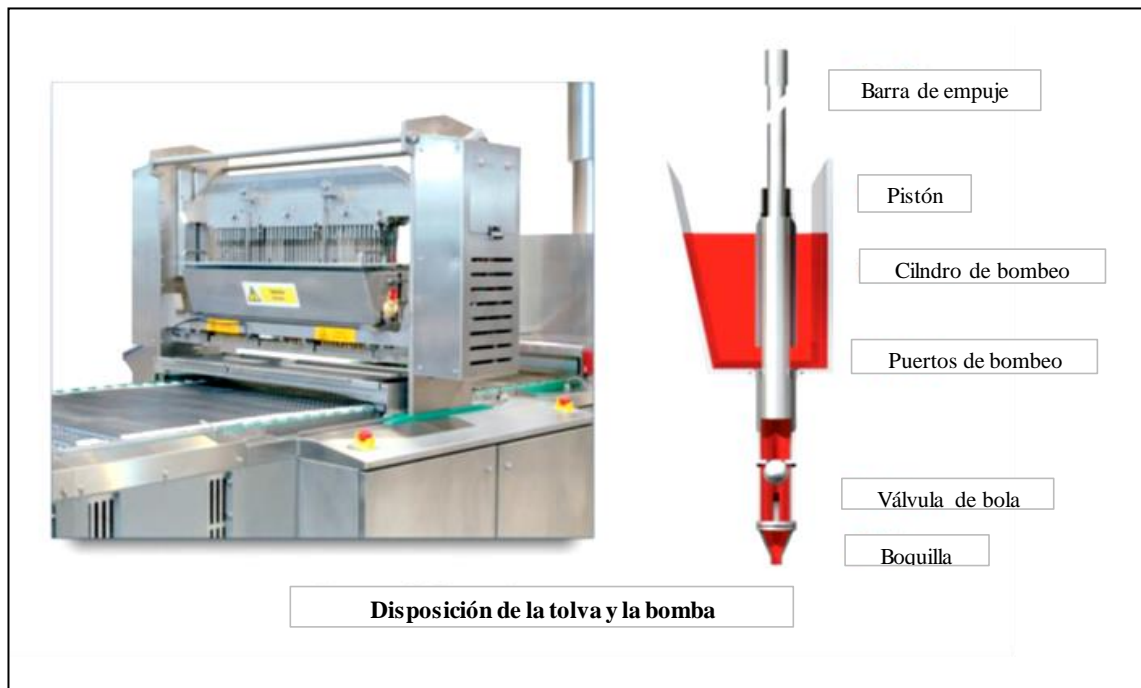


Figura 5: Disposición de la tolva y bomba de depositado

FUENTE: Bond y Prange (2012)

2.7. DEFECTOS DE CALIDAD EN LOS CAMELOS DUROS

El grado de inversión del azúcar, el tiempo y la temperatura de concentración, la humedad residual en el caramelo y la adición de otros ingredientes son los factores que afectan directamente la producción y el almacenamiento de los caramelos duros (Rodríguez y Bastidas, 2009).

2.7.1. CAMBIO DE COLOR

Se produce principalmente por inversión del azúcar o por caramelización de la proteína en caramelos que contienen leche (Jiménez y Yañez, 2016).

2.7.2. INVERSIÓN

El proceso de inversión ocurre cuando en el proceso de elaboración la sacarosa de la formulación se separa en moléculas de glucosa y fructosa, estos azúcares se denominan invertidos o reductores; le dan al jarabe un color amarillento o café y al ser higroscópicos en altas cantidades hacen al caramelo pegajoso (Jiménez y Yañez, 2016). En los caramelos depositados, donde se requiere un mayor contenido de glucosa en fórmula para obtener la textura deseada se debe tener un mayor control de su uso, pudiendo haber una inversión excesiva, lo cual se observará en producto como decoloración del caramelo y adhesión a la envoltura durante el tiempo de vida útil (Bond y Prange, 2012).

La inversión también se da por acción del ácido presente en la formulación o residual de algún ingrediente, junto a las altas temperaturas de cocción. El tiempo de exposición a condiciones de acidez y temperatura aumentan el grado de inversión del caramelo (Jiménez y Yañez, 2016).

2.7.3. PEGAJOSIDAD

Los caramelos duros tienden a la pegajosidad durante el almacenamiento debido a la absorción de humedad debido principalmente a:

- La cantidad de azúcares reductores presentes provenientes de la inversión en el proceso de cocción y de la dextrosa equivalente de la glucosa utilizada.
- La calidad de la envoltura, se recomiendan para climas calientes y húmedos los empaques en almohada porque sellan mejor que la envoltura twist; aumentando la vida en anaquel.
- La humedad en almacén (Jiménez y Yañez, 2016).

Encalada (2011), menciona que la pegajosidad en un caramelo duro resulta de un proceso de cocción lento y a baja temperatura, así como las condiciones inadecuadas de almacenamiento.

2.7.4. GRANULOSIDAD

Según Jiménez y Yañez (2016), la granulosidad es la formación de diminutos cristales de azúcar en el caramelo, lo cual es un efecto no deseado durante el proceso de elaboración del caramelo

Las principales causas de la granulosidad en los caramelos duros son:

- El contenido de azúcar en la formulación
- La condensación que se forma en la superficie del caramelo, debido a un enfriamiento lento luego de la cocción. Un enfriamiento rápido de la masa provoca la formación del estado vítreo, mientras que un lento de la masa induce a la cristalización que da a lugar a la textura granulosa.

En los caramelos depositados existe la posibilidad de que el caramelo recrystalice o se granule si no existe una proporción adecuada de azúcar y jarabe de glucosa en la formulación, pudiendo observarse en el producto final y en la tolva de depositado, ya que con la acción de cizallamiento de los puede iniciar el proceso de recrystalización, observándose turbidez en el jarabe alrededor de los pistones (Bond y Prange, 2012).

2.8. DETERMINACIÓN DE VIDA ÚTIL EN ALIMENTOS

Calligaris *et al.* (2019) definen a vida útil (SL) desde el punto de vista teórico, como un período de tiempo finito después de la producción (en algunos casos después de la maduración o el envejecimiento), durante el cual el producto alimenticio conserva un nivel requerido de calidad en condiciones de almacenamiento bien definidas.

En la Figura 6 se muestran las etapas de vida de un producto alimenticio desde la fabricación hasta la maduración y el envejecimiento, el almacenamiento en el paquete original o después de la apertura del paquete. Se indican la vida útil, la vida útil secundaria y la vida segura

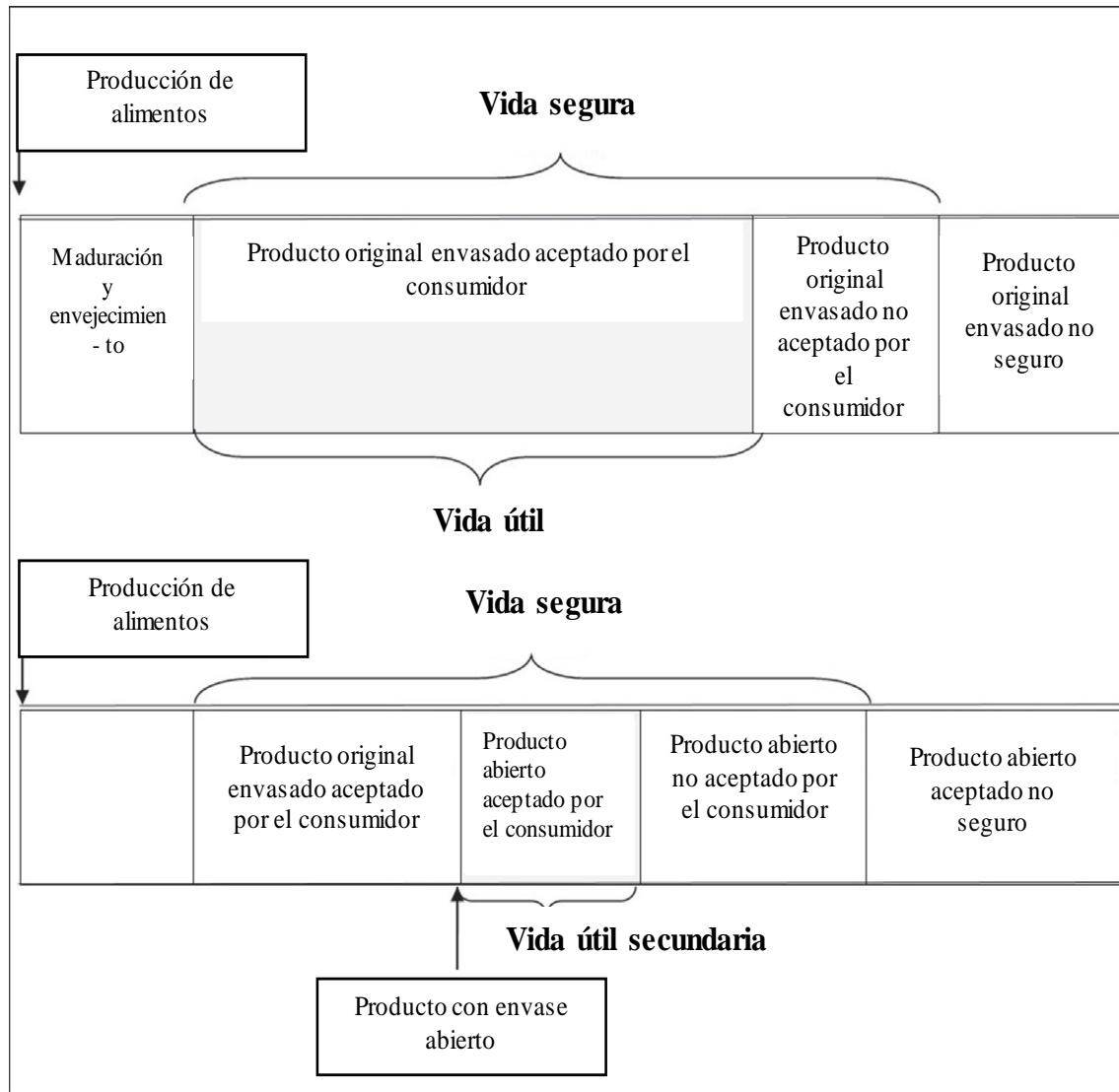


Figura 6: Etapas de vida de un producto alimenticio

FUENTE: Calligaris et al. (2019)

2.8.1. ETAPAS DEL PROCESO DE EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL

De Bouillé y Beeren (2016), definen la vida útil acelerada como el almacenamiento del alimento en ambientes controlados para acelerar el deterioro del producto, el principio de este estudio es acelerar la velocidad de envejecimiento del producto, siendo los factores de aceleración más comunes la temperatura y la humedad.

Mencionan, que el modelo comúnmente utilizado para definir un estudio de vida útil acelerado es el modelo cinético, por ejemplo, el enfoque basado en la ecuación de Arrhenius con tres tratamientos para la obtención de una estimación razonable de la vida útil en tiempo real. Calligaris *et al.* (2019) detallan tres fases fundamentales en el proceso de evaluación de la vida útil acelerada.

2.8.2. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Consiste en la determinación del parámetro crítico asociado al deterioro de un alimento durante su almacenamiento, lo que conduce a una pérdida de calidad del producto. Destacando que la definición del límite de aceptabilidad de este parámetro crítico es el aspecto que convierte una prueba de estabilidad en una prueba de vida útil.

2.8.3. PRUEBA

Consiste en la planificación precisa de la evaluación y la realización de la prueba de evolución del indicador de calidad seleccionado controlado en condiciones de almacenamiento previsibles.

2.8.4. MODELADO

Consiste en estimar la vida útil de un alimento mediante principios cinéticos, con ayuda de los datos adquiridos durante la fase de prueba para describir la evolución del indicador de calidad.

Estas etapas se resumen en la Figura 7.

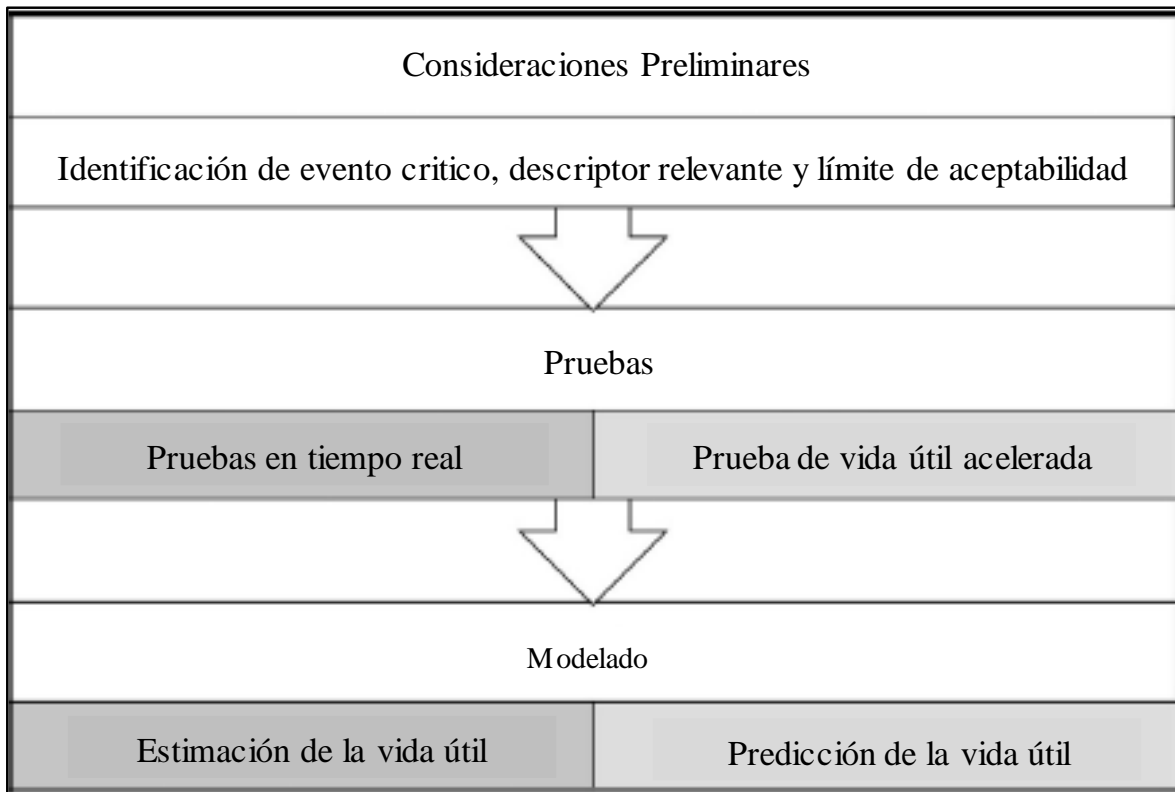


Figura 7: Representación esquemática del protocolo de prueba de vida útil

FUENTE: Calligaris *et al.*, (2019)

2.9. CALIDAD DE LOS ALIMENTOS DURANTE LA VIDA ÚTIL

Los productos de confitería son generalmente más estables y tienen una vida útil relativamente larga, respecto a otros alimentos; debido a su alto contenido de azúcar son menos propensos al deterioro microbiológico, por lo que, los cambios físicos y químicos que conducen a cambios de sabor, textura, color y olor son las principales causas de deterioro. Debido a su baja actividad de agua, los productos de confitería son estables y se pueden almacenar en condiciones ambientales.

La mayoría de los cambios en las características de textura de los productos de confitería o envejecimiento durante el almacenamiento, son causados por cambios estructurales en el producto.

2.9.1. ENVEJECIMIENTO

Según Jiménez y Yañez (2016), para mejorar la vida útil de un caramelo el producto final debe tener una humedad residual mínima de 3%, lo cual se puede conseguir utilizando una mezcla de sacarosa y glucosa en las proporciones adecuadas.

Al utilizar únicamente sacarosa en la formulación se obtendría un producto con gran inestabilidad, al igual con contenidos de sacarosa mayores a 60%; produciendo un efecto empanizado del caramelo, es decir que la sacarosa que hay en la superficie del caramelo cristalizará debido al aumento de moléculas de agua en la periferia. Esto hace que la viscosidad del medio disminuya y las partículas de sacarosa entren en contacto entre sí, cosa que provoca una cristalización superficial de sacarosa, presentando un caramelo de aspecto blanquinoso y opaco, al mismo tiempo se produce un cambio en sus propiedades organolépticas (Jiménez y Yañez, 2016).

2.9.2. MIGRACIÓN DE HUMEDAD

Moschopoulou *et al.* (2019) detallan dentro de los factores extrínsecos que afectan la vida útil de los alimentos, como parámetros críticos la humedad relativa, la temperatura, el oxígeno y la luz.

La migración de humedad desde el ambiente hacia el producto está determinada por las diferencias en la humedad relativa de equilibrio (ERH) de los componentes y la humedad relativa del ambiente, cuanto mayor sea la diferencia entre el ERH de los componentes adyacentes, mayor será la tendencia a la migración de la humedad, lo que conduce al deterioro de la calidad. Los productos con una ERH más alta que la humedad relativa del ambiente tenderán a secarse, pero aquellos con ERH más baja absorberán la humedad del ambiente durante el almacenamiento. Para caramelos duros se ha definido una ERH entre 45 – 55% (Subramaniam, 2016).

2.9.3. ENVASE

El objetivo principal del envasado es proteger los alimentos del deterioro ambiental y mecánico y biológico, manteniendo su calidad y por tanto su vida útil. Sin embargo, pueden producirse interacciones químicas y físicas entre los alimentos, los envases y el medio ambiente. Los sistemas de envasado activos han incorporado componentes que pueden absorber oxígeno y humedad de los alimentos envasados o del medio ambiente; para mantener o mejorar las condiciones de los alimentos alargando la vida útil (Moschopoulou *et al.*, 2019).

2.10. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS CAMELOS DUROS

La vida útil de los caramelos duros depende principalmente de la tasa de migración de la humedad y del efecto del contenido de agua en la textura del producto. En el caso de productos con una vida útil de más de 2 años, como los caramelos duros, los estudios de vida útil acelerada se realizan cambiando las condiciones de almacenamiento y acelerando el deterioro. Las altas temperaturas y la humedad del aire se utilizan a menudo para inducir degradación del producto en estas pruebas de vida útil acelerada (Spanemberg *et al.*, 2019)

Spanemberg *et al.* (2019) mencionan que el almacenamiento de caramelos duros a una humedad relativa mayor a 75% acelera la migración de humedad a través del empaque y reduce significativamente la vida útil. Adicional a ello, si la temperatura de almacenamiento es mayor a la temperatura de transición vítrea (T_g) el caramelo ya no mantiene su estado vítreo, siendo la adhesividad y la cristalización las características del final de la vida útil. Ergun *et al.* (2010) reportan para caramelos duros un rango de temperatura de transición vítrea promedio de 35 a 40 °C.

Spanemberg *et al.* (2019) mencionan que la vida útil de los caramelos duros depende del contenido de azúcares utilizados en la fórmula, es decir la relación de sacarosa y jarabe de glucosa.

Nowakowski y Hartel (2002) indican que los carbohidratos con bajo peso molecular generalmente tienen menor Tg, mientras que aquellos con alto peso molecular tienen mayor Tg. Sin embargo, aumentar la Tg de los caramelos duros y por consecuencia incrementar el uso de sacarosa no ayuda a incrementar la vida útil de estos productos, ya que esto potencia la formación de cristales obteniéndose un producto duro y quebradizo, lo que ocasiona problemas en el proceso de fabricación (Ergun *et al.*, 2010).

El uso de jarabes de maíz es relevante en la vida útil de los caramelos duros ya que ayuda a controlar la cristalización de la sacarosa. Sin embargo, Ergun *et al.* (2010) mencionan que el uso de un alto porcentaje de jarabe de maíz 40 DE captura fácilmente la humedad incrementando el deterioro del producto.

Spanemberg *et al.* (2019) lograron extender en 7 meses la vida útil de una formulación de caramelos duros con una proporción de sacarosa cercana al 60% y con uso de proporciones mixtas de jarabes de maíz 40 DE y jarabe de alto contenido de maltosa.

III. METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo se realizó en las instalaciones de una empresa dedicada al rubro de confitería; ubicada en el distrito de Ventanilla, Callao.

La etapa de pruebas de campo y evaluaciones sensoriales se realizaron en los almacenes de Piura e Iquitos y en las instalaciones en Quito, Ecuador.

3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS

- Azúcar blanca refinada marca Risaralda (Proveedor Interloom), pureza mínima de 99%
- Jarabe de glucosa obtenido por hidrólisis ácida y enzimática de almidón de grado alimenticio, con un contenido de sólidos solubles de 80.3 – 81.3% marca Stablesweet (Proveedor Ingredion)
- Agua
- Lactato de sodio (Proveedor E&M)
- Ácido cítrico (Proveedor E&M)
- Ácido láctico (Proveedor E&M)
- Saborizante 1 (Proveedor Symrise)
- Saborizante 2 (Proveedor Firmenich)
- Propilenglicol (Proveedor Frutarom)
- Colorantes artificiales (Rojo N°40, Amarillo N°5, Amarillo N°6) (Proveedor Frutarom)

3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.3.1. MATERIALES

- Recipientes de plástico
- Jabas plásticas
- Varilla de acero inoxidable
- Baldes de acero inoxidable
- Bureta
- Fiola
- Pipeta
- Vaso de precipitado
- Matraz
- Agitador magnético 8x40 mm
- Platillo de aluminio
- Pinzas
- Cronómetro
- Cucharas de acero inoxidable
- Espátulas de acero inoxidable
- Marcadores indelebles de color negro
- Envolturas BOPP Cristal/Metal (17 – 17)
- Envolturas BOPP Cristal/Metal (17 – 20)
- Palitos de polietileno
- *Displays* de cartulina reverso kraft
- Cajas de cartón corrugado
- Cinta de embalaje
- Etiquetas adhesivas
- Mesas de acero inoxidable

3.3.2. EQUIPOS

- Laptop HP
- Refractómetro Atago Pal α
- Analizador de humedad Metler Toledo Modelo HE53/01 – China
- Balanza Analítica AND A&D Company, Limited /FX2000i
- Molino de cuchillas Grindomix GM200 RETSCH
- Agitador magnético con calefacción Velp Scientifica Modelo AREX F20500413
- Estufas para pruebas aceleradas: Thermolab Stability Chamber Modelo 5G1K00A001
- Marmita de preparación de jarabe con chaqueta de vapor
- Tanque de jarabe con chaqueta de vapor
- Bomba centrífuga
- Línea de proceso de caramelo depositado SHINWEI MACHINERY Modelo GD150JHL – China
- Sistema PLC (propio de la empresa)
- Panel de control SIEMENS SIMATIC HMI
- Máquina envasadora Eccopac Modelo EVT – 200SS
- Balanza OHAUS 60 kg X2SS
- Sistema de pesaje con software Weight – Instruments scales 50 kg TP 9901
- Etiquetadora
- Encintadora

3.3.3. REACTIVOS

- Reactivo Fehling A
- Reactivo Fehling B
- Azul de metileno

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Se realizó la determinación de humedad en el analizador de humedad Metler Toledo Modelo HE53/01 – China. Con ayuda de un molino de cuchillas Grindomix GM200 RETSCH se trituraron las muestras de manera homogénea, se colocaron en un platillo de aluminio y se procedió a realizar la medición. Se realizaron tres mediciones por prueba.

3.4.2. DETERMINACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES

Se realizó la determinación de los azúcares reductores utilizando el método de la AOAC 925.49(J); 2016; 20th Confectionary by Reducing Sugars Before and After.

3.4.3. DETERMINACIÓN DE MOHOS Y LEVADURAS

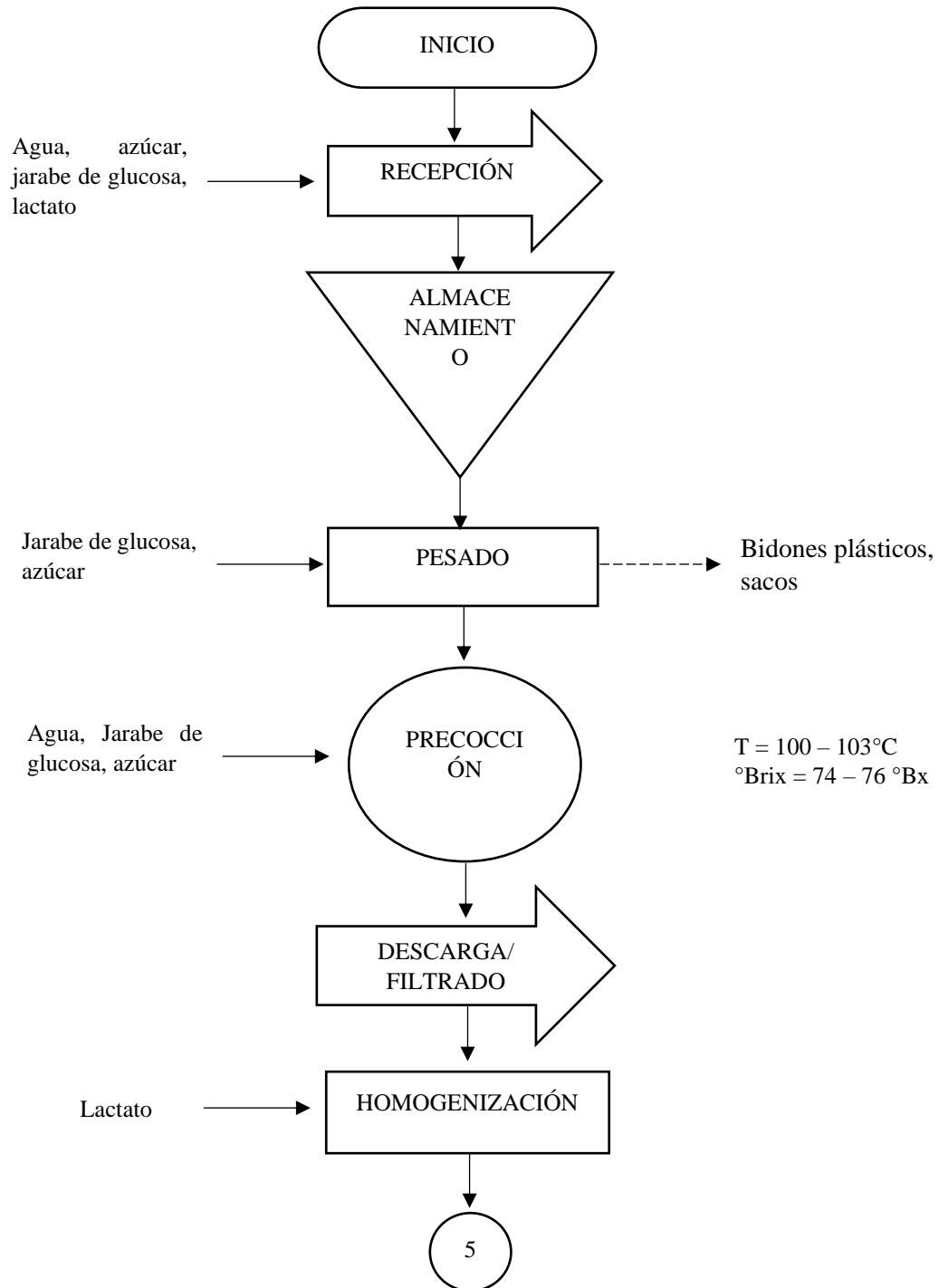
La numeración de mohos en ufc/g se realizó en un laboratorio externo acreditado por INACAL, de acuerdo con lo indicado en la AOAC 997.02, según lo indica la NTP 208.101 (2019).

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

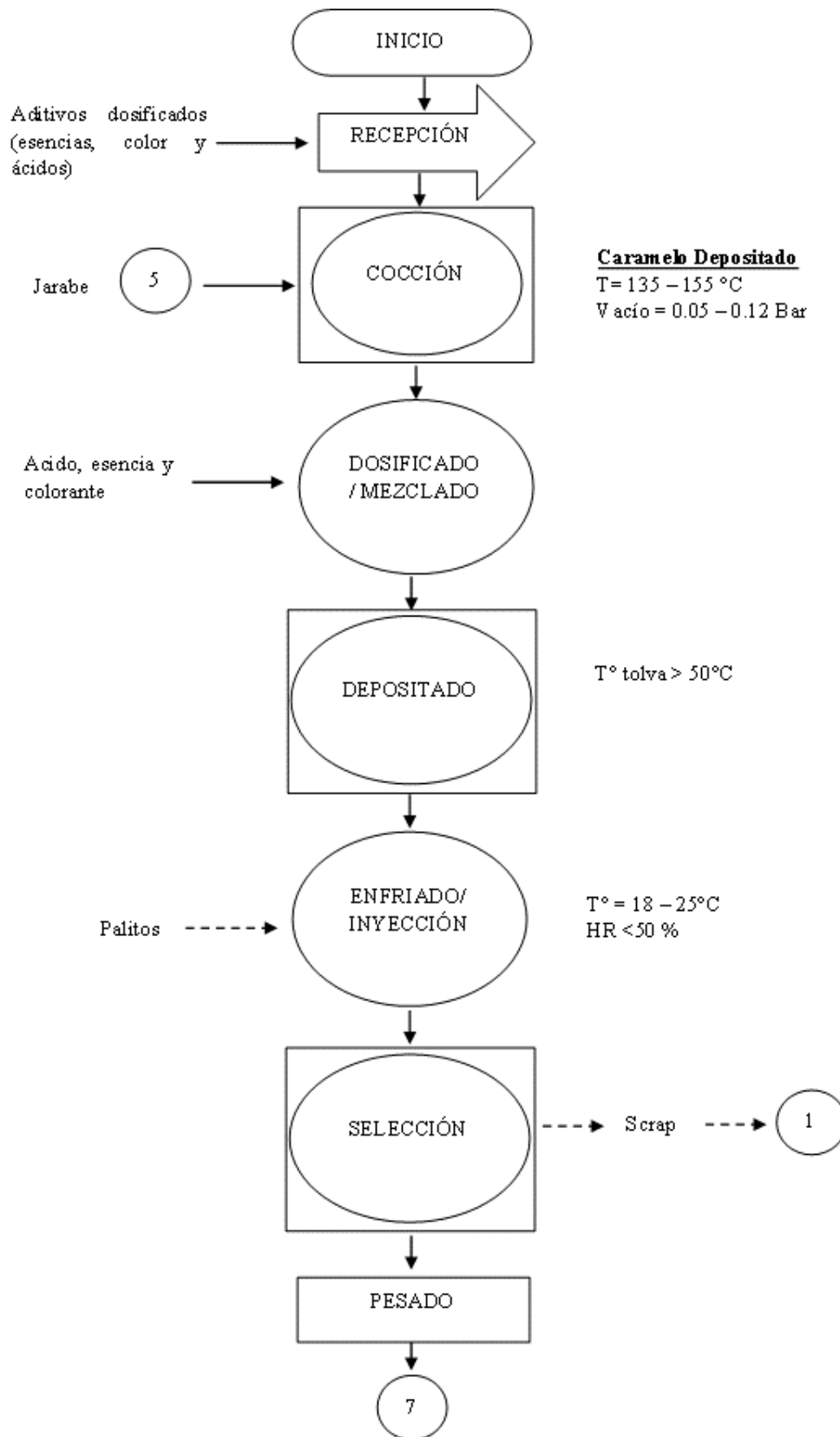
3.5.1. FLUJO DE PROCESO DE ELABORACIÓN DE CAMELOS DEPOSITADOS

La elaboración de los caramelos se realizó en tres etapas, las cuales se detallan a continuación

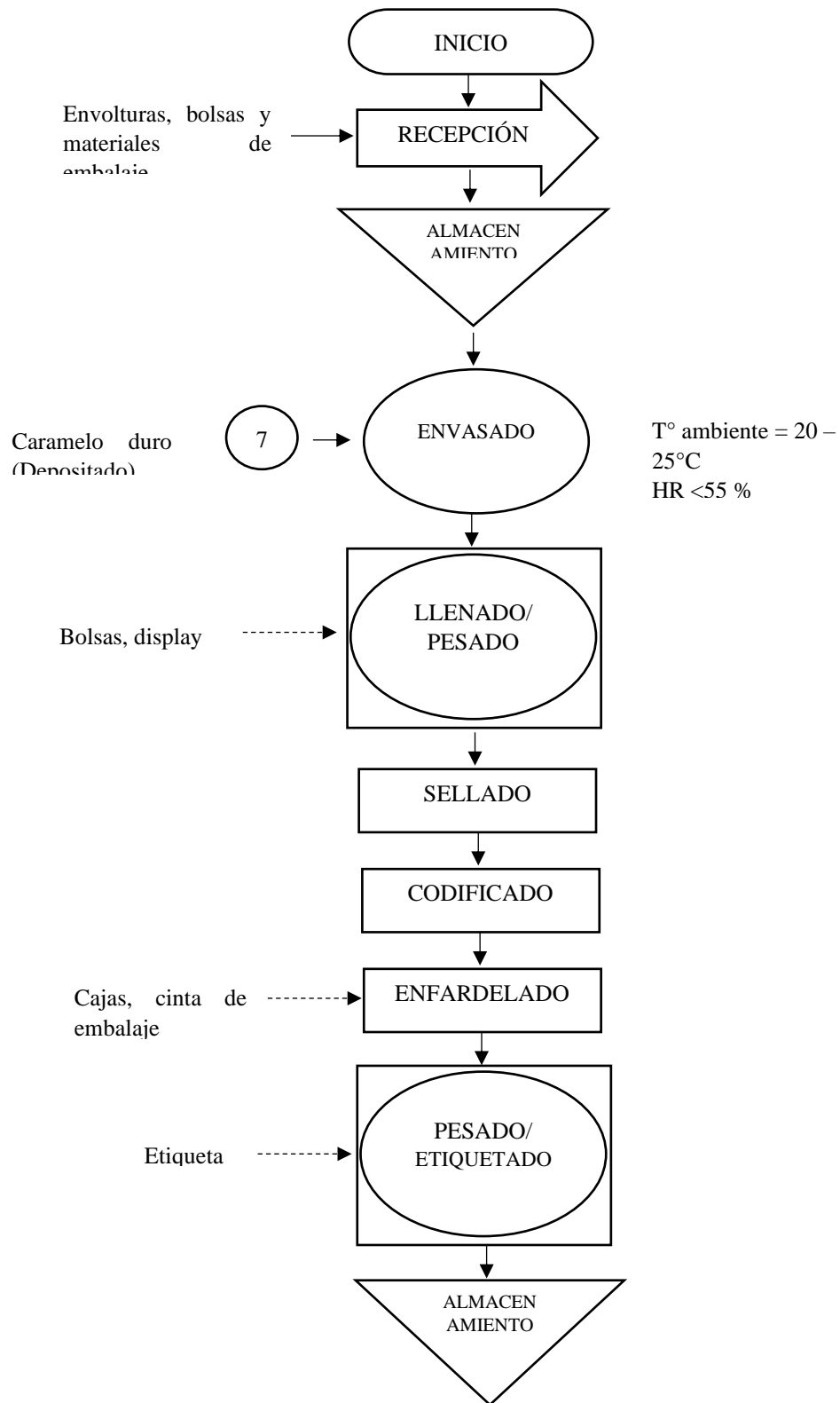
a. **PREPARACIÓN DEL JARABE**



b. PREPARACIÓN DEL CARAMELO



c. **ENVASADO**



3.5.2. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS

a. PREPARACIÓN DEL JARABE

- Recepción: De todos los insumos necesarios para la preparación del jarabe: azúcar, jarabe de glucosa y lactato.
- Almacenamiento: De todos los insumos necesarios para la preparación del jarabe: azúcar, jarabe de glucosa y lactato.
- Pesado: Con uso de una balanza se procedió a pesar los insumos según lo establecido en cada formulación.
- Precocción: Se mezclan los insumos en una marmita con agitación hasta 100 – 103 °C, llegando a una concentración de sólidos solubles de 74 -76°C.
- Descarga y Filtrado: El jarabe precocido pasa a través de una bomba por tuberías con filtros hacia el tanque de espera.
- Homogenización: El jarabe en el tanque de espera pasa por un proceso de agitación durante 15 – 20 minutos, luego de la adición del lactato.

b. PREPARACIÓN DEL CAMELO

- Recepción: De todos los insumos necesarios para la preparación del caramelo: jarabe, esencias, colorantes y ácidos.
- Cocción: El jarabe homogenizado pasa por el sistema de cocción de película descendente de la línea de caramelos depositados, hasta una temperatura de 155°C con un vacío de 0.12 bar.
- Dosificado y Mezclado: El producto cocido pasa hacia los mezcladores donde se inyecta por bombeo la mezcla de ácido y las esencias; cayendo luego el producto mezclado hacia la tolva dosificadora.
- Depositado: El producto mezclado es depositado en moldes de acero inoxidable a una temperatura mayor a 50°C.

- Enfriado e Inyección: Al caramelo depositado en los moldes se le inyectan los palitos de manera mecánica y pasa por el túnel de enfriamiento a una temperatura de 18 a 25°C, con una humedad relativa menor a 50%.
- Selección: El caramelo retirado de los moldes es colocado en bandejas plásticas, donde se separan los caramelos defectuosos.
- Pesado: El caramelo seleccionado se pesa con ayuda de una balanza a la salida del túnel y pasa al área de envasado.

c. ENVASADO

- Recepción: De todos los materiales de embalaje necesarios: Bobinas, bolsas, *displays* y cajas corrugadas.
- Almacenamiento: De todos los materiales de embalaje necesarios: Bobinas, bolsas, *displays* y cajas corrugadas.
- Envasado: El producto pesado pasa al área de envasado, a una temperatura controlada de 20 – 25°C y humedad relativa menor a 55%, donde es colocado en una envoltura de polipropileno bioorientado cristal/metalizado y termosellado con inyección de aire comprimido.
- Llenado y Pesado: El producto envasado es llenado en *displays* de cartulina por 12 unidades
- Sellado y Codificado: Los *displays* son cerrados con pegamento y se les imprime el lote y fecha correspondiente.
- Enfardelado, Pesado y Etiquetado: Los *displays* llenados y codificados son introducidos en cajas de cartón corrugado, pesados y etiquetados, mediante el sistema de pesaje con *software Weight – Instruments scales 50 kg TP 9901*.
- Almacenamiento: Las cajas pesadas son paletizadas, de acuerdo con el estándar de paletizado correspondiente al producto y es trasladado hacia el almacén de producto terminado.

3.5.3. DEFINICIÓN DE LA FORMULACIÓN

La reformulación del caramelo depositado se realizó en las siguientes etapas:

a. ENSAYO PRELIMINAR

Esta etapa consistió en dos actividades:

- La caracterización de la materia prima con una evaluación comparativa de sus especificaciones técnicas.
- Identificación de las etapas del proceso productivo que influyen en el deterioro del producto, la cual consistió en un muestreo del producto almacenado con la finalidad de detectar el principal defecto (motivo de reclamos de cliente) y su relación con una de las etapas críticas del proceso productivo.

La evaluación del defecto de pegajosidad se realizó de manera visual, utilizando como guía el manual estándar de defectos establecido por el área de control de calidad de la empresa.

b. PRIMER ENSAYO

En esta etapa se realizó la evaluación de tres formulaciones (Tabla 5) con el uso de materias primas (Jarabe de glucosa) alternativas.

Tabla 5: Prototipos evaluados para la reformulación de caramelo depositado

Ingrediente	Control	Prototipo 1	Prototipo 2	Prototipo 3
Azúcar	41%	41%	43%	45%
Jarabe de Glucosa	41%	40%	38%	36%
Agua	18%	19%	19%	19%

c. SEGUNDO ENSAYO

En esta etapa se realizó la evaluación de dos formulaciones (Tabla 6) con diferentes porcentajes de reemplazo de ácido cítrico por ácido láctico.

Tabla 6: Prototipos para reformulación de caramelo depositado con uso de ácido láctico evaluados

Ingrediente	Prototipo 1	Prototipo 2
Ácido cítrico	38%	49%
Ácido láctico	62%	51%

Para estas pruebas se trabajó con la mejor formulación seleccionada en el segundo ensayo. Las mezclas de ácido se añadieron a las bombas de dosificación de la línea en solución acuosa.

d. TERCER ENSAYO

En esta etapa se realizó la evaluación de la nueva formulación (Tabla 7) de caramelos depositados, en dos envases diferentes: BOPP Cristal 15/ Metal 15 y BOPP Cristal 20/ Metal 15. Esta formulación se definió de los ensayos 1 y 2, considerando las formulaciones con mejor comportamiento durante las pruebas aceleradas. Para la definición de esta formulación se tomó el mejor prototipo del primer ensayo para la base azúcar: glucosa: agua y el mejor prototipo del segundo ensayo para definir el contenido de ácido láctico.

Tabla 7: Prototipo final para la reformulación de caramelo depositado

Ingrediente	Nueva formula
Azúcar	43%
Jarabe de Glucosa	38%
Agua	19%
Solución de ácido (49% Ácido cítrico – 51% ácido láctico)	1.8%

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

3.6.1. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS

Las muestras resultantes de cada ensayo (Tablas 5, 6 y 7) se colocaron en cámaras climáticas, a una humedad relativa de 70% y a 30, 40 y 50°C, y fueron evaluadas de acuerdo con los tiempos establecidos que se muestran en la Tabla 8, 9 y 10.

Tanto para el producto control (caramelo sin reformular) como para los prototipos (nuevas formulaciones) se trabajó con un modelo cinético de primer orden, tomando como referencia los estudios de vida útil en tiempo real realizados para este tipo de productos (caramelos depositados) en función del r^2 al relacionar el atributo (A) vs el tiempo de almacenamiento (orden cero) y $\ln A$ vs tiempo de almacenamiento (orden uno) y siendo que los valores de r^2 con mejor ajuste obtenidos para la ecuación de Arrhenius fueron con $n=1$. Núñez et al. (2018) mencionan que los principios y procedimientos de la modelación cinética establecen que, bajo condiciones ambientales constantes, la degradación y pérdida de la calidad y por tanto de la vida útil de los alimentos se puede representar por la disminución o aumento de uno o varios parámetros de calidad. Además, mencionan que la mayoría de las reacciones de deterioro en alimentos han sido caracterizadas como de orden aparente cero o primer orden.

Con los valores de r^2 para los tres tratamientos se estableció el orden de la reacción.

$$\frac{dA}{dt} = \pm kA^n$$

Ecuación 1: Ecuación de cinética de reacción

Donde:

n: orden de la reacción (0 ó 1)

$$\ln A = \ln A_0 \pm kt$$

Ecuación 2: Ecuación de cinética de reacción linealizada para orden uno

Donde:

A: Atributo

Ao: Atributo inicial

k: Constante de cinética de reacción

t: Tiempo

De las gráficas $\text{Ln}k$ vs $1/T$ abs ($^{\circ}\text{K}$) para cada tratamiento y atributo evaluado se determinó la energía de activación (E_a), siendo E_a/R la pendiente y el $\text{Ln}k_o$ el intercepto.

$$\text{Ln}k = \text{Ln}k_o - \frac{E_a}{RT}$$

Ecuación 3: Ecuación de Arrhenius linealizada

Donde:

K_o : Factor pre – exponencial

E_a : Energía de activación (KJ/mol)

R: Constante universal de los gases (0.008314 KJ/mol K)

T: temperatura absoluta (K)

Con los valores que se obtuvieron de k_o , se calculó el valor de k_{20} , mediante la ecuación 4.

$$k = k_o e^{-E_a/RT}$$

Ecuación 4: Ecuación de Arrhenius para cálculo de k_{20}

Con los parámetros críticos de humedad (4%) y azúcares reductores (28%) de acuerdo con la NTP 208.101 (2019) establecida para caramelos duros y el coeficiente de velocidad de reacción (k_{20}) obtenido con la ecuación 4, se calculó mediante la ecuación 5 la vida útil estimada para cada formulación. Según Ergun *et al.* (2010), el contenido de humedad en caramelos duros puede variar del 3% al 5% en productos comerciales. También Netramai *et al.* (2018) estimaron un contenido crítico de humedad de 4%.

$$t = \text{Ln}\left(\frac{A}{A_o}\right)/k$$

Ecuación 5: Ecuación para cálculo de tiempo de vida útil por atributo y prototipo

Donde:

t: Tiempo de vida útil

A: Parámetro crítico

Ao: Parámetro inicial

k: Constante de velocidad de reacción (k) a 20 °C

Tabla 8: Prototipos formulados en el primer ensayo, almacenados a 30, 40 y 50°C a 70% de humedad relativa

Tratamientos	30°C – 70% HR	40°C – 70% HR	50°C – 70% HR
N° de Pruebas	4	4	4
N° de muestras/ Prueba	24	24	24
Frecuencia	Cada 15 días	Cada 10 días	Cada 5 días
Características	Humedad	Humedad	Humedad
Fisicoquímicas	Azúcares	Azúcares	Azúcares
	Reductores	Reductores	Reductores
Características Microbiológicas	Recuento de Mohos y Levaduras al inicio y final de cada tratamiento		

Tabla 9: Prototipos formulados en el segundo ensayo, almacenados a 30, 40 y 50°C a 70% de humedad relativa

Tratamientos	30°C – 70% HR	40°C – 70% HR	50°C – 70% HR
N° de Pruebas	2	2	2
N° de muestras/ Prueba	24	24	24
Frecuencia	Cada 15 días	Cada 10 días	Cada 5 días
Características	Humedad	Humedad	Humedad
Fisicoquímicas	Azúcares	Azúcares	Azúcares
	Reductores	Reductores	Reductores
Características Microbiológicas	Recuento de Mohos y Levaduras al inicio y final de cada tratamiento		

Tabla 10: Prototipo formulado en el tercer ensayo, almacenados a 30, 40 y 50°C a 70% de humedad relativa

Tratamientos	30°C – 70% HR	40°C – 70% HR	50°C – 70% HR
N° de Pruebas	2	2	2
N° de muestras/ Prueba	24	24	24
Frecuencia	Cada 15 días	Cada 10 días	Cada 5 días
Características	Humedad	Humedad	Humedad
Fisicoquímicas	Azúcares	Azúcares	Azúcares
	Reductores	Reductores	Reductores
Características	Recuento de Mohos y Levaduras al inicio y final de cada		
Microbiológicas	tratamiento		

3.6.2. ANÁLISIS SENSORIAL DEL SEGUNDO ENSAYO

Las formulaciones del segundo ensayo fueron comparadas con el producto estándar, con el objetivo de identificar cambios de sabor que pudieran afectar la aceptación final del producto por el consumidor.

Esta evaluación se realizó mediante una prueba triangular, en donde se presentó a un total de 15 panelistas entrenados, en un rango de edad de 25 – 35 años, 3 muestras: dos iguales y una diferente, se les pedía que escojan la muestra diferente (diseño experimental completo y balanceado).

Los datos obtenidos de las pruebas sensoriales para los prototipos del segundo ensayo fueron analizados utilizando las tablas de Roessler *et al.* (1948) para pruebas triangulares considerando un nivel de significancia de 5% ($\alpha=0,05$). Los datos se analizaron utilizando el software estadístico *Compusense five*, el cual analiza e indica el número de respuestas correctas que debe haber para que haya diferencia significativa con una seguridad del 95% y un 5% de error.

3.6.3. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE VIDA MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO

Las muestras resultantes del mejor prototipo seleccionado en el tercer ensayo se enviaron a los almacenes de la empresa en las ciudades de Piura e Iquitos, con la finalidad de evaluar su comportamiento en climas calurosos y húmedos. Las muestras fueron evaluadas de acuerdo con los tiempos establecidos que se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11: Evaluación en campo de las muestras de la nueva formulación aprobada en los ensayos 1, 2 y 3

Tratamientos	Prueba de Campo - Piura	Prueba de Campo Iquitos
	T: 17 – 33°C	T: 20 – 34°C
	HR >70%	HR >90%
N° de Pruebas	1	1
N° de muestras/ Prueba	2 cajas x 24 <i>displays</i>	2 cajas x 24 <i>displays</i>
Frecuencia	Cada 2 meses	Cada 2 meses
Características	Humedad	Humedad
Fisicoquímicas	Azúcares Reductores	Azúcares Reductores
Características Microbiológicas	Recuento de Mohos y Levaduras al inicio y final de cada tratamiento	

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

4.1.1. JARABE DE GLUCOSA

Para la reformulación del producto (caramelo depositado) se realizó una evaluación comparativa del jarabe de glucosa que se utiliza para la producción de estos caramelos versus una propuesta alternativa para este insumo (Tabla 12).

Tabla 12: Comparativo del jarabe de glucosa utilizado versus el jarabe de glucosa propuesto para la reformulación

Parámetro	Jarabe de Glucosa Utilizado	Jarabe de Glucosa Propuesto
Obtención	Hidrolisis ácida	Hidrolisis ácida y enzimática
Dextrosa Equivalente (%)	38.0 – 42.0	30.0 – 34.0
Baume (140/ 60°F)	42.7 – 43.2	42.7 – 43.2
Sólidos (%)	80.0 – 81.0	80.3 – 81.3
pH (Solución al 50% p/p)	4.5 – 5.3	4.5 – 5.3

Como se detalla en la Tabla 12, no existen diferencias en contenido de sólidos solubles del jarabe de glucosa propuesta respecto al que se utiliza. Sin embargo, si observamos que este aporta un menor contenido de azúcares reductores finales al caramelo por su bajo contenido de dextrosa equivalente.

Jiménez y Yáñez (2016) clasifican el jarabe de glucosa como uno de los insumos que acorde a su proporción en la fórmula y su valor DE determinan el grado de inversión necesario para que el producto final no tienda a la pegajosidad excesiva ni la recristalización temprana.

Edwards (2002) menciona que el incremento del uso de jarabe de glucosa en la formulación aumenta la proporción de dextrosa y oligómeros de alto peso molecular de dextrosa, generando un producto más higroscópico y con mayor tendencia a la pegajosidad. Sin embargo, al usar un jarabe de glucosa con menor DE se reducen estos problemas.

Subramaniam (2016) detalla que los jarabes de glucosa con mayor DE dan como resultado caramelos más suaves y propensos a perder la forma durante el almacenamiento, al contrario de los jarabes con bajo DE, cuya viscosidad es más alta y se recomienda para fabricación de productos de confitería para climas tropicales.

4.2. EVALUACIÓN DE PRODUCTO Y PROCESO

4.2.1. EVALUACIÓN DE DEFECTOS ENCONTRADOS EN EL PRODUCTO

a. PEGAJOSIDAD

Se realizó un muestreo de un total de 250 cajas de producto en el almacén de producto terminado, según tabla Militar estándar a un nivel de inspección general I, los resultados se muestran en la Tabla 13.

Total, de Cajas: 250 unidades

Número de muestras evaluadas: 13 cajas

Defectos evaluados: Pegajosidad

Tabla 13: Evaluación de pegajosidad en el producto almacenado

N° Caja	Temperatura de cocción (°C)	<i>Displays/</i> Caja	Unidades/ <i>Display</i>	Total, evaluado/ Caja	N° unidades defectuosas	% Defectuosos
1	151	12	12	144	103	72%
2	150	12	12	144	102	71%
3	150	12	12	144	100	69%
4	150	12	12	144	98	68%
5	150	12	12	144	96	67%
6	148	12	12	144	93	65%
7	148	12	12	144	88	61%
8	145	12	12	144	76	53%
9	145	12	12	144	74	51%
10	145	12	12	144	72	50%
11	143	12	12	144	69	48%
12	143	12	12	144	68	47%
13	139	12	12	144	32	22%

Del muestreo realizado, como se muestra en la Tabla 14, se observó que el 57.2% del total de producto evaluado presentó el defecto de calidad (pegajosidad).

Tabla 14: Producto defectuoso (Pegajoso) obtenido del muestreo

Cantidad de producto Evaluado	N° unidades defectuosas	% Total de defectuosos
1872	1071	57.2%

Jiménez y Yañez (2016) mencionan que los caramelos duros tienden a la pegajosidad durante el almacenamiento debido a la absorción de humedad

Menciona que este defecto está relacionado con la cantidad de azúcares reductores presentes provenientes de la inversión en el proceso de cocción y de la dextrosa equivalente de la glucosa utilizada.

En la figura 8 se observa la relación entre la temperatura de cocción y el porcentaje de producto que presenta el defecto de pegajosidad, encontrado durante el muestreo realizado.

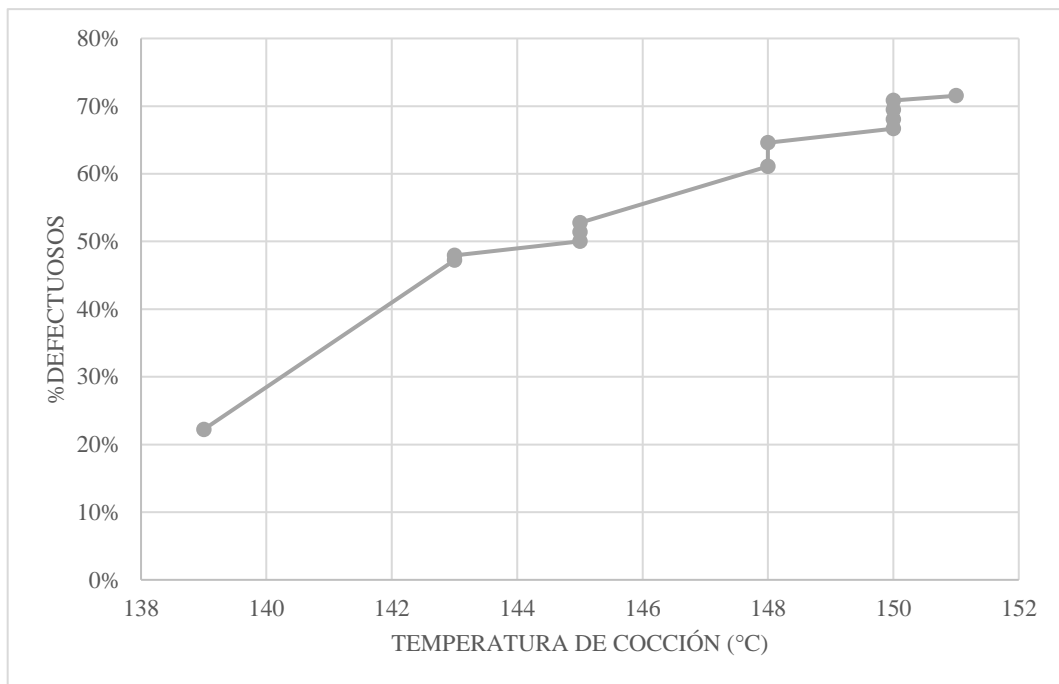


Figura 8: Relación del porcentaje de defectuosos con la temperatura de cocción

Esta etapa del proceso productivo, junto con el tipo de jarabe de glucosa utilizado, así como la cantidad y tipo de ácido utilizado en el producto no reformulado, aumentan la incidencia del defecto en el producto. En las Figuras 9 y 10 se muestran los productos con defectos críticos de pegajosidad observados durante el muestreo.



Figura 9: Defectos críticos de pegajosidad encontrados en producto traslucido



Figura 10: Defectos críticos de pegajosidad encontrados en producto no traslucido

Según Jiménez y Yáñez (2016), los caramelos tienden a la pegajosidad por dos principales factores: la cantidad de azúcares reductores en el caramelo que son altamente higroscópicos y la inversión en el proceso de cocción, por efecto de la interacción del ácido añadido en la fórmula y la temperatura.

Bond y Prange (2012) recomiendan una proporción de azúcar: glucosa de 50:50 aproximadamente para caramelos depositados transparentes y el uso de ácido láctico tamponado en una dosis de 0.5 a 2%, también menciona el uso de otros ácidos como: málico, cítrico y tartárico aumenta drásticamente el grado de inversión en el producto final.

Pese a que la proporción azúcar: glucosa en la fórmula es la adecuada, existen otros factores que influyen en los defectos de calidad, como el uso de ácido cítrico y glucosa con mayor contenido de dextrosa equivalente.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS

4.3.1. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS PROTOTIPOS PROPUESTOS EN EL PRIMER ENSAYO

a. TRATAMIENTO CONTROL

a.1. A partir del contenido de Humedad (%)

De los datos del contenido de humedad obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el producto control (Tabla 15) y la tendencia de los valores que se muestran en la Figura 11, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la Figura 12.

Tabla 15: Variación del contenido de humedad por tratamiento de una muestra control (producto no reformulado) para el primer ensayo

T: 30 °C - HR: 70%		T: 40 °C - HR: 70%		T: 50 °C - HR: 70%				
t	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)	T	Humedad (%)	Ln (Humedad)

<<continuación>>

0	1.61	0.4762	0	1.61	0.4762	0	1.61	0.4762
15	1.77	0.5710	10	1.88	0.6313	5	1.92	0.6523
30	1.85	0.6152	20	2.18	0.7793	10	2.32	0.8416
45	2.14	0.7608	30	2.47	0.9042	15	2.66	0.9783
60	2.32	0.8416	40	2.87	1.0543	20	3.2	1.1632
75	2.55	0.9361	50	3.12	1.1378	25	3.45	1.2384
90	2.76	1.0152	60	3.4	1.2238	30	3.88	1.3558

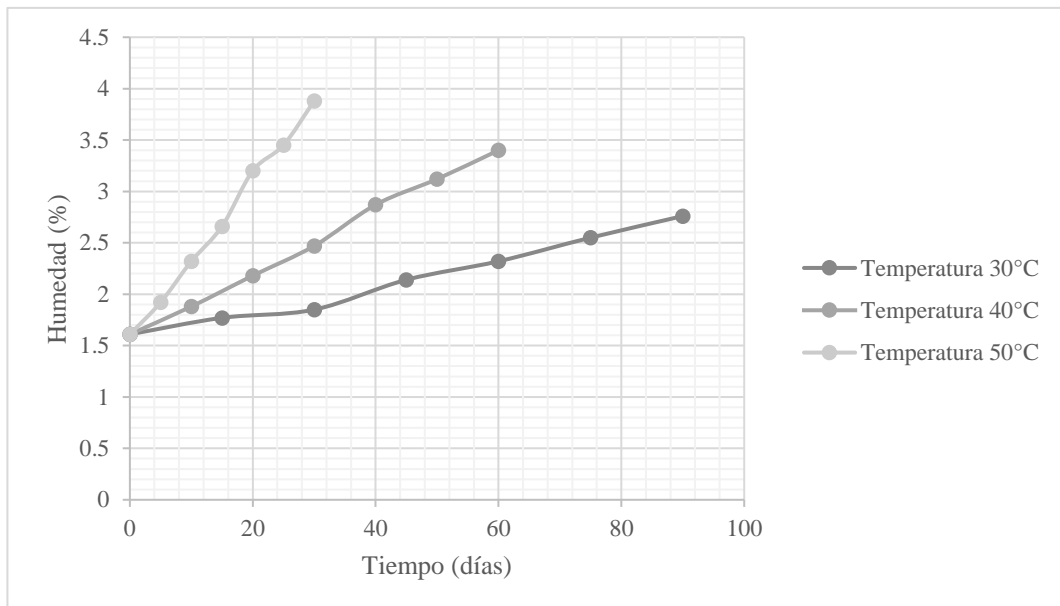


Figura 11: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del producto control a 30, 40 y 50 °C

No se pudo definir con los valores de r^2 para los tres tratamientos el orden de la reacción, ya que se obtuvo para los tratamientos a 30°C y 40°C una reacción de orden cero y para el tratamiento a 50°C una reacción de orden uno. Sin embargo, con los resultados de los modelos cinéticos obtenidos para $n=0$ y $n=1$ se evaluó la influencia de la temperatura sobre el parámetro de humedad a través de la ecuación de Arrhenius para la obtención de la energía de activación y k_{20} . El mejor ajuste de r^2 se observó para el orden de reacción uno.

Se definió continuar la evaluación para los tres tratamientos con el modelo cinético obtenido para orden uno tomando como referencia el estudio de vida en anaquel a tiempo real del producto sin reformular, donde se observó que la variación de los parámetros humedad y azúcares reductores siguió un modelo de orden uno, Ergun *et al.* (2010) menciona que la variación del contenido de agua en caramelos duros es incremental hasta el inicio de la cristalización o granulado, donde tiende a la disminución.

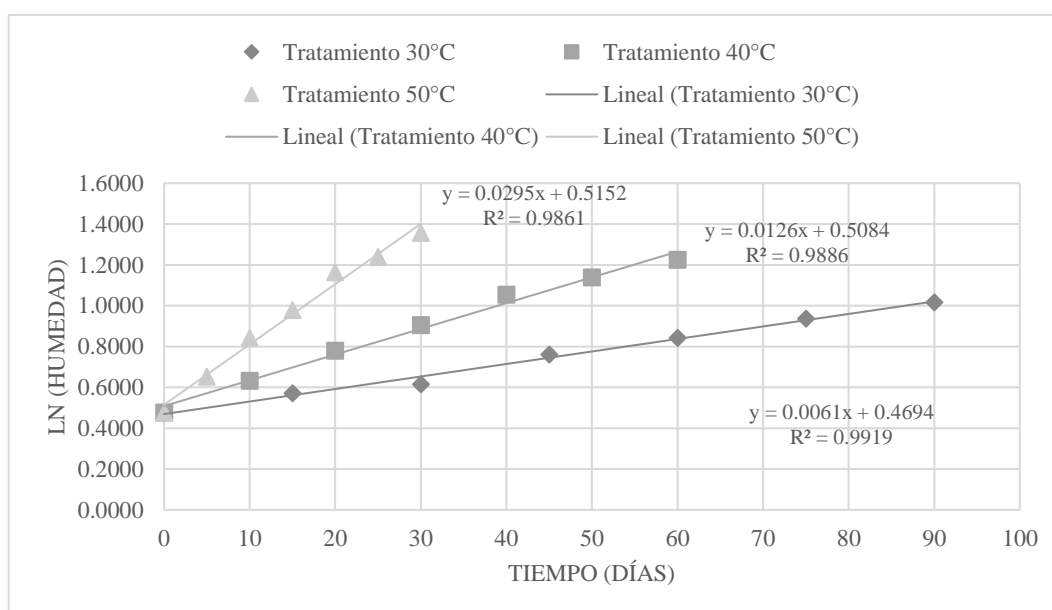


Figura 12: Variación del Ln (humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del producto control.

De las ecuaciones en la Figura 12, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 16 y con estos valores se obtiene el tiempo de vida del producto control (Tabla 17).

Tabla 16: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el producto control en el primer ensayo

$1/T$ (K^{-1})	T ($^{\circ}C$)	K (día $^{-1}$)
0.0033	30	0.0061

<<continuación>>

0.0032	40	0.0126
0.0031	50	0.0295

Tabla 17: Determinación de la energía de activación (Ea), k₂₀ (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del producto control en el primer ensayo

Energía de activación (Ea) KJ/mol	1/T (K ⁻¹)	T (°C)	k ₂₀ (día ⁻¹)	Humedad Inicial (%)	Humedad Crítica (%)	t ₂₀ (días)	t ₂₀ (meses)
64.05	0.0034	20	0.0025	1.61%	4%	365	12

a.2 A partir del contenido de Azúcares Reductores (%)

De los datos del contenido de azúcares reductores obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el producto control (Tabla 18) y la tendencia de los valores que se muestran la Figura 13, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la Figura 14.

Tabla 18: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento de una muestra control (producto no reformulado) para el primer ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
T	Azúcares Reductores (%)	Ln (AR)	t	Azúcares Reductores (%)	Ln (AR)	T	Azúcares Reductores (%)	L (AR)
0	16.6	2.8094	0	16.6	0.4762	0	16.6	0.4762
15	17.4	2.8565	10	19	0.6313	5	19.1	0.6523
30	18.2	2.9014	20	20	0.7793	10	22.7	0.8416

<<continuación>>

45	19	2.9444	30	22.3	0.9042	15	23.5	0.9783
60	19.5	2.9704	40	22.9	1.0543	20	25.4	1.1632
75	22.3	3.1046	50	27	1.1378	25	27.7	1.2384
90	27.2	3.3032	60	29.1	1.2238	30	37	1.3558

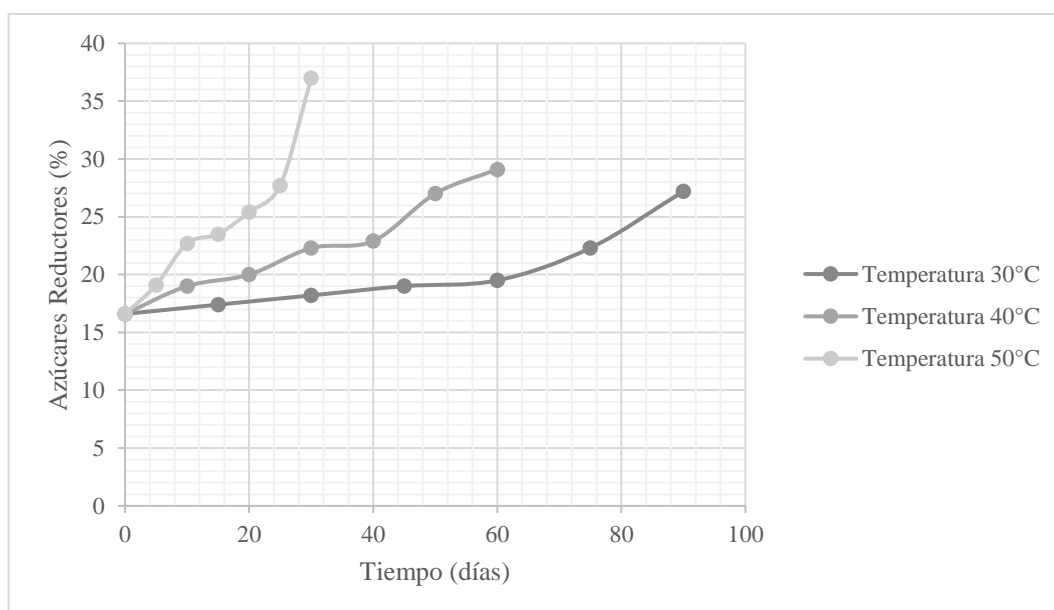


Figura 13: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del producto control a 30, 40 y 50 °C

Con los valores de r^2 para los tres tratamientos se estableció que el orden de la reacción fue uno, con los resultados de los modelos cinéticos obtenidos para $n=1$ se evaluó la influencia de la temperatura sobre el parámetro de azúcares reductores a través de la ecuación de Arrhenius para la obtención de la energía de activación y k_{20} .

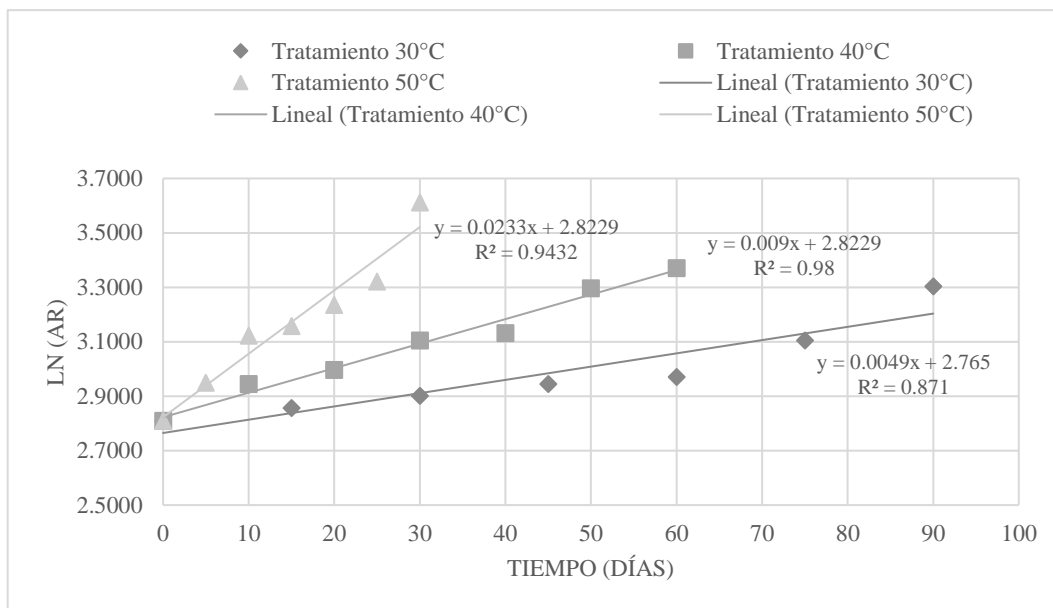


Figura 14: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del producto control

De las ecuaciones en la Figura 14, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 19 y con estos valores se obtiene el tiempo de vida del producto control (Tabla 20).

Tabla 19: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el producto control en el primer ensayo

$1/T$ (K^{-1})	T ($^{\circ}C$)	k ($día^{-1}$)
0.0033	30	0.0049
0.0032	40	0.0090
0.0031	50	0.0233

Tabla 20: Determinación de la energía de activación (Ea), k20 (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del producto control en el primer ensayo

Energía de activación (Ea) KJ/mol	1/T (K ⁻¹)	T (°C)	k ₂₀ (día ⁻¹)	AR Inicial (%)	AR Crítica (%)	t ₂₀ (días)	t ₂₀ (meses)
63.27	0.0034	20	0.0020	16.6%	28%	268	9

Para los dos parámetros se observó que las constantes de velocidad cinética (k) fueron mayores con el incremento de la temperatura.

b. PROTOTIPO N°1

b.1 A partir del contenido de Humedad (%)

De los datos del contenido de humedad obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 1 (Tabla 21), y la tendencia de los valores que se muestran la Figura 15, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la figura 16.

Tabla 21: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°1 para el primer ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
T	Humedad (%)	Ln (Humedad)	T	Humedad (%)	Ln (Humedad)	T	Humedad (%)	Ln (Humedad)
0	1.08	0.0770	0	1.08	0.0770	0	1.08	0.0770
15	1.16	0.1484	10	1.29	0.2546	5	1.42	0.3507
30	1.33	0.2852	20	1.5	0.4055	10	1.73	0.5481
45	1.4	0.3365	30	1.63	0.4886	15	2.32	0.8416
60	1.77	0.5710	40	1.87	0.6259	20	2.66	0.9783
75	1.92	0.6523	50	2.15	0.7655	25	2.89	1.0613

<<continuación>>

90	2.39	0.8713	60	2.77	1.0188	30	3.91	1.3635
----	------	--------	----	------	--------	----	------	--------

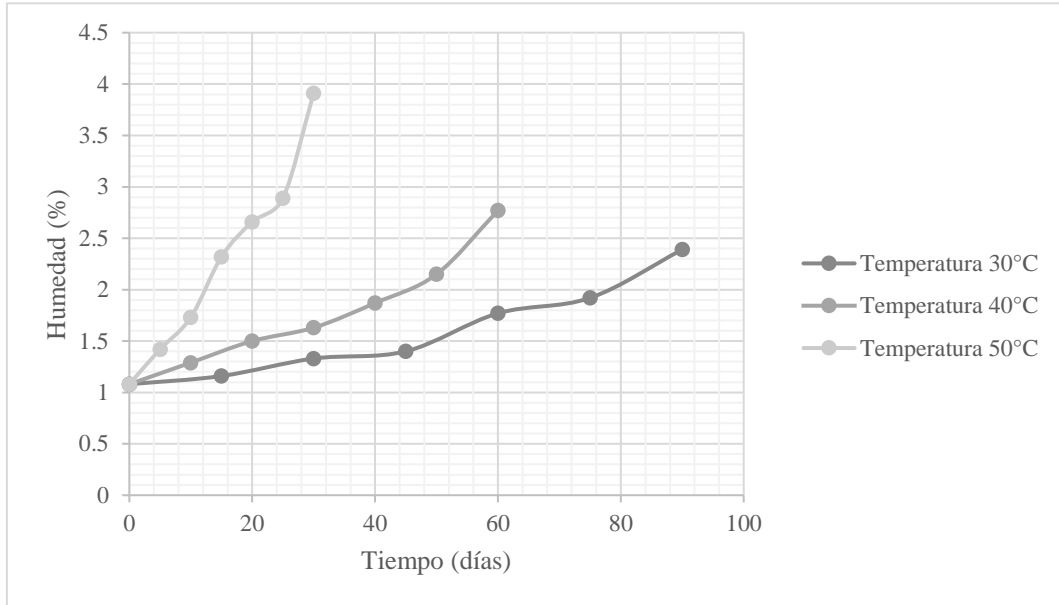


Figura 15: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C

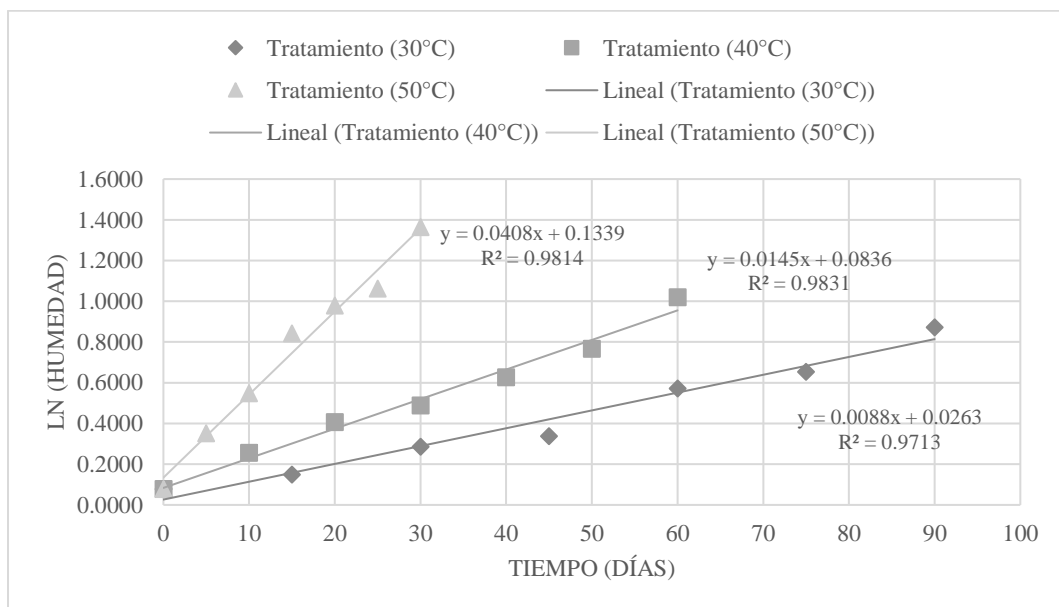


Figura 16: Variación del Ln (humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1

De las ecuaciones en la Figura 16, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 22 y con estos valores se obtiene el tiempo de vida del prototipo 1 (Tabla 23).

Tabla 22: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°1 en el primer ensayo

$1/T$ (K^{-1})	T ($^{\circ}C$)	K ($día^{-1}$)
0.0033	30	0.0088
0.0032	40	0.0145
0.0031	50	0.0408

Tabla 23: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} ($20^{\circ}C$) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°1 en el primer ensayo

Energía de activación (E_a) KJ/mol	$1/T$ (K^{-1})	T ($^{\circ}C$)	k_{20} ($día^{-1}$)	Humedad Inicial (%)	Humedad Crítica (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
62.15	0.0034	20	0.0034	1.08%	4%	380	13

b.2. A partir del contenido de Azúcares Reductores (%)

De los datos del contenido de azúcares reductores obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 1 (Tabla 24), y la tendencia de los valores que se muestran la Figura 17, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la figura 18.

Tabla 24: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°1 para el primer ensayo

T: 30 °C – HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
T	Azúcares Reductores (%)		t	Azúcares Reductores (%)		t	Azúcares Reductores (%)	
	Ln (AR)			Ln (AR)			Ln (AR)	
0	14	2.6391	0	14	2.6391	0	14	2.6391
15	14.6	2.6810	10	16	2.7726	5	15.6	2.7473
30	15.02	2.7094	20	17.3	2.8507	10	17.13	2.8408
45	15.45	2.7376	30	19.2	2.9549	15	20.2	3.0057
60	17.1	2.8391	40	21.3	3.0587	20	21.7	3.0773
75	18.2	2.9014	50	21.9	3.0865	25	23.5	3.1570
90	21.5	3.0681	60	24.3	3.1905	30	28.1	3.3358

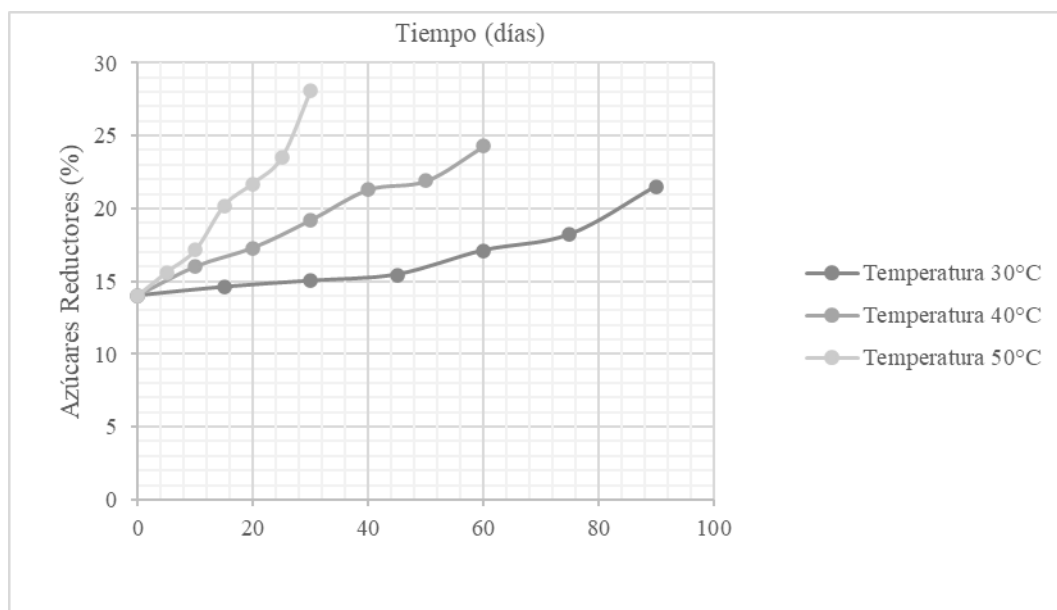


Figura 17: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C

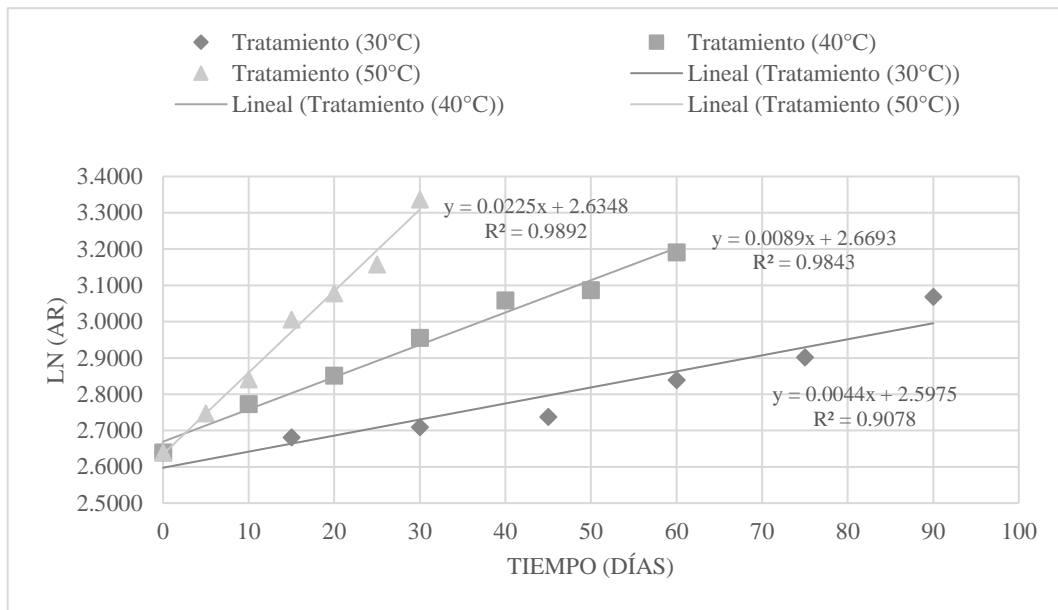


Figura 18: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1

De las ecuaciones en la Figura 18, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 25 y con estos valores se obtiene el tiempo de vida del prototipo 1 (Tabla 26).

Tabla 25: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°1 en el primer ensayo

$1/T$ (K^{-1})	T ($^{\circ}C$)	k ($día^{-1}$)
0.0033	30	0.0044
0.0032	40	0.0089
0.0031	50	0.0225

Tabla 26: Determinación de la energía de activación (Ea), k₂₀ (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°1 en el primer ensayo

Energía de activación (Ea) KJ/mol	1/T (K ⁻¹)	T (°C)	k ₂₀ (día ⁻¹)	AR Inicial (%)	AR Crítica (%)	t ₂₀ (días)	t ₂₀ (meses)
66.27	0.0034	20	0.0017	14%	28%	404	13

c. PROTOTIPO N°2

c.1. A partir del contenido de Humedad (%)

De los datos del contenido de humedad obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 2 (Tabla 27) y la tendencia de los valores de humedad que se muestran en la Figura 19, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la Figura 20.

Tabla 27: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°2 para el primer ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
t	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)
0	0.95	-0.0513	0	0.95	-0.0513	0	0.95	-0.0513
15	1.16	0.1484	10	1.22	0.1989	5	1.38	0.3221
30	1.29	0.2546	20	1.38	0.3221	10	1.79	0.5822
45	1.43	0.3577	30	1.6	0.4700	15	1.9	0.6419
60	1.6	0.4700	40	1.92	0.6523	20	2.43	0.8879
75	1.75	0.5596	50	2.15	0.7655	25	2.87	1.0543
90	1.92	0.6523	60	2.32	0.8416	30	3.12	1.1378

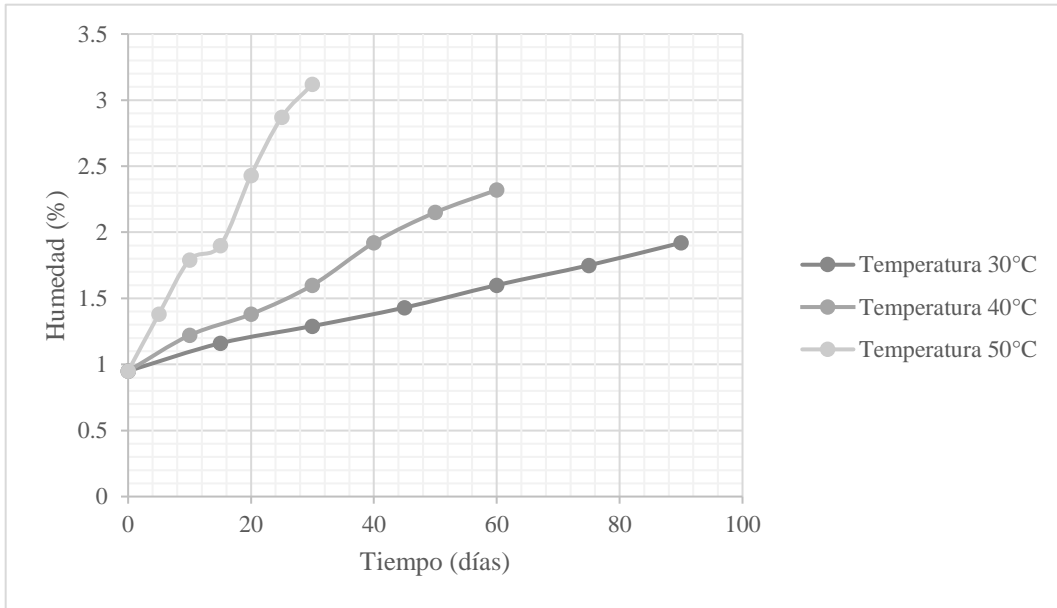


Figura 19: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C

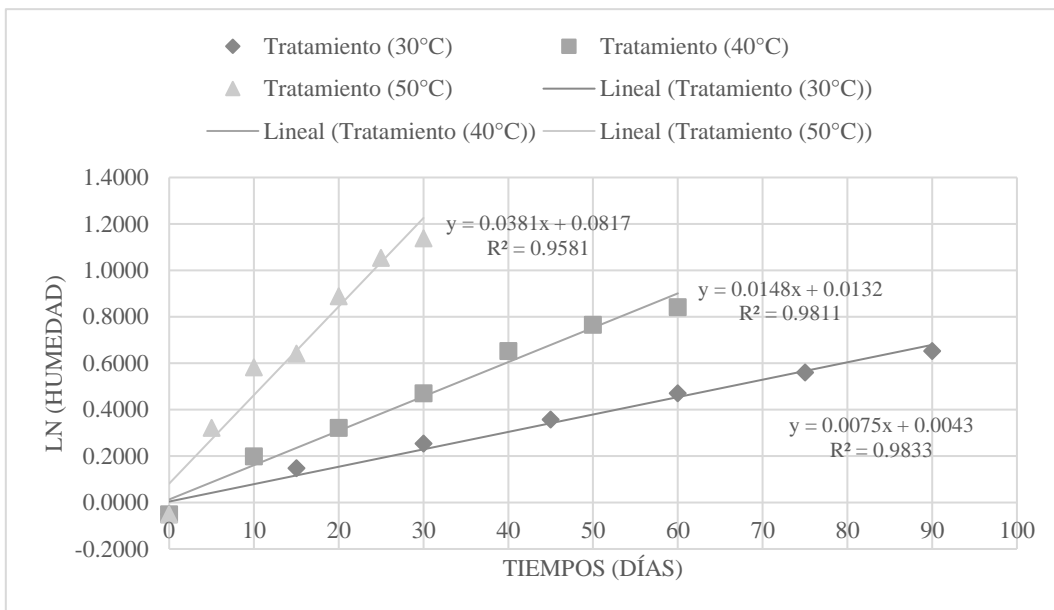


Figura 20: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2

De las ecuaciones en la Figura 20, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 28 y con estos valores se obtiene el tiempo de vida del prototipo 2 (Tabla 29).

Tabla 28: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°2 en el primer ensayo

1/T	T °C	K (día ⁻¹)
0.0033	30	0.0075
0.0032	40	0.0148
0.0031	50	0.0381

Tabla 29: Determinación de la energía de activación (Ea), k₂₀ (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°2 en el primer ensayo

Energía de activación (Ea) KJ/mol	1/T	T °C	k ₂₀ (día ⁻¹)	Humedad Inicial (%)	Humedad Crítica (%)	t ₂₀ (días)	t ₂₀ (meses)
62.15	0.0034	20	0.0029	0.95%	4%	493	16

c.2. A partir del contenido de Azúcares Reductores (%)

De los datos del contenido de azúcares reductores obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 2 (Tabla 30) y la tendencia de los valores de azúcares reductores que se muestra en la Figura 21, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la figura 22.

Tabla 30: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°2 para el primer ensayo

T: 30 °C - HR: 70%				T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
Azúcares Reductores (%)		Ln (AR)	t	Azúcares Reductores (%)		Ln (AR)	t	Azúcares Reductores (%)	
0	15	2.7081	0	15	2.7081	0	15	2.7081	

<<Continuación>>

15	16.1	2.7788	10	16.9	2.8273	5	17.8	2.8792
30	16.85	2.8244	20	17.4	2.8565	10	19.7	2.9806
45	17.3	2.8507	30	19.5	2.9704	15	20.6	3.0253
60	18.1	2.8959	40	21	3.0445	20	22.3	3.1046
75	18.8	2.9339	50	22.3	3.1046	25	23.1	3.1398
90	20.3	3.0106	60	23.9	3.1739	30	24.4	3.1946

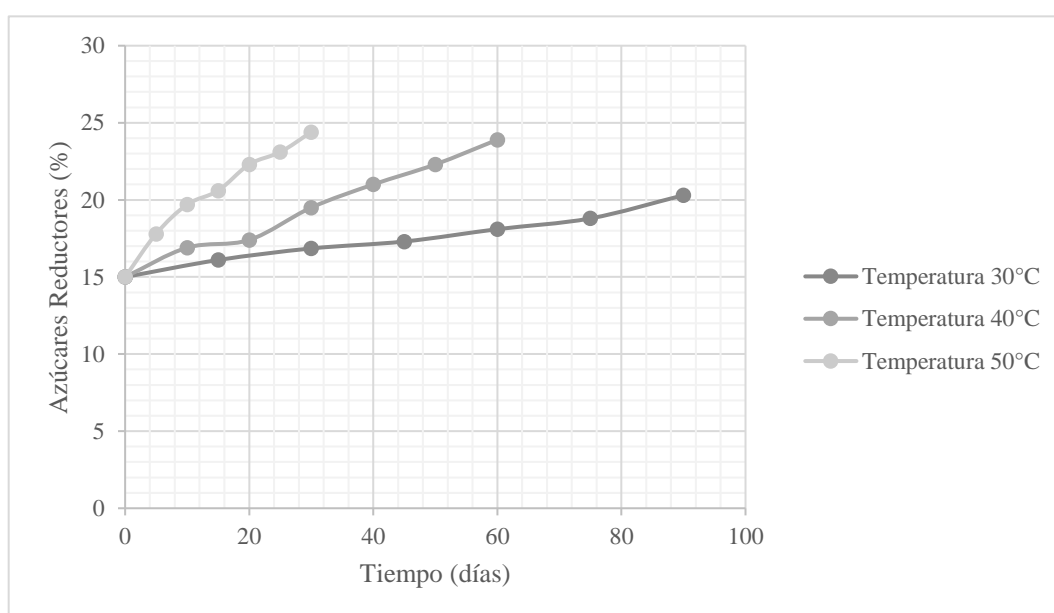


Figura 21: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C

De las ecuaciones en la Figura 22, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 31 y el tiempo de vida útil del Prototipo 2 (Tabla 32).

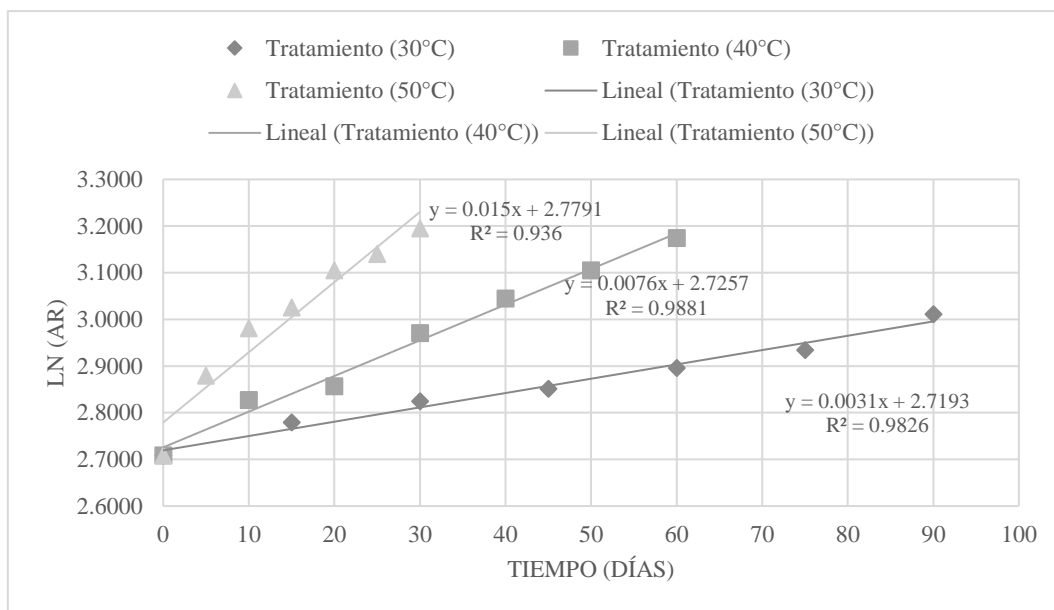


Figura 22: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°2

Tabla 31: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°2 en el primer ensayo

1/T	T °C	k (día ⁻¹)
0.0033	30	0.0031
0.0032	40	0.0076
0.0031	50	0.0150

Tabla 32: Determinación de la energía de activación (Ea), k₂₀ (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°2 en el primer ensayo

Energía de activación (Ea) KJ/mol	1/T	T °C	k ₂₀ (día ⁻¹)	AR Inicial (%)	AR Crítica (%)	t ₂₀ (días)	t ₂₀ (meses)
64.22	0.0034	20	0.0013	15%	28%	493	16

d. PROTOTIPO N°3

d.1. A partir del contenido de Humedad (%)

De los datos del contenido de humedad obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 3 (Tabla 33) y la tendencia de los valores de humedad que se muestra en la Figura 23, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la Figura 24.

Tabla 33: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°3 en el primer ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
t	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)
0	1.2	0.1823	0	1.2	0.1823	0	1.2	0.1823
15	1.25	0.2231	10	1.39	0.3293	5	1.63	0.4886
30	1.33	0.2852	20	1.66	0.5068	10	1.94	0.6627
45	1.44	0.3646	30	1.76	0.5653	15	2.37	0.8629
60	1.7	0.5306	40	1.87	0.6259	20	2.78	1.0225
75	1.79	0.5822	50	2.2	0.7885	25	3.11	1.1346
90	2.43	0.8879	60	2.76	1.0152	30	3.52	1.2585

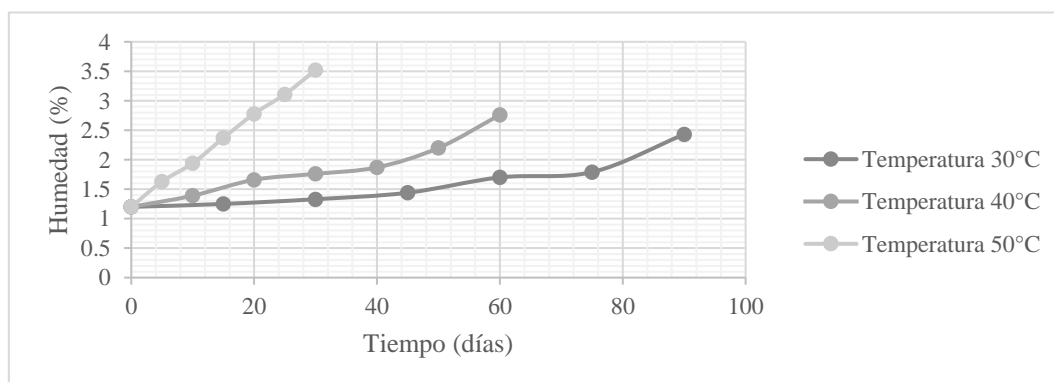


Figura 23: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°3 a 30, 40 y 50 °C

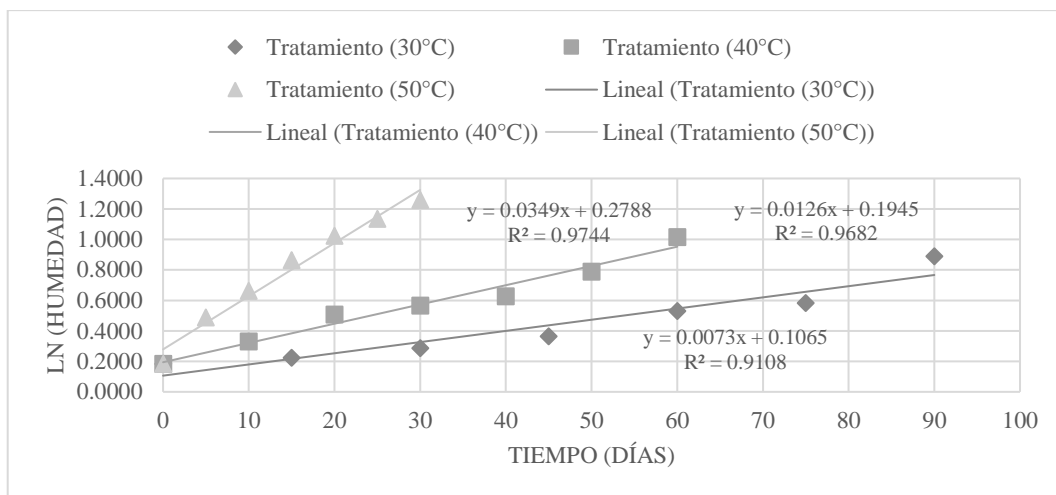


Figura 24: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°3

De las ecuaciones en la Figura 24, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 34 y el tiempo de vida útil del prototipo 3 (Tabla 35).

Tabla 34: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°3 en el primer ensayo

1/T	T °C	K (días ⁻¹)
0.0033	30	0.0073
0.0032	40	0.0126
0.0031	50	0.0349

Tabla 35: Determinación de la energía de activación (Ea), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°3 en el primer ensayo

Energía de activación (Ea) KJ/mol	1/T	T °C	k_{20} (días ⁻¹)	Humedad Inicial (%)	Humedad Crítica (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
62.15	0.0034	20	0.0028	1.2%	4%	424	14

d.2. A partir del contenido de Azúcares Reductores (%)

De los datos del contenido de azúcares reductores obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 3 (Tabla 36) y la tendencia de valores de azúcares reductores de la Figura 25, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la figura 26.

Tabla 36: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°3 en el primer ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
t	Azúcares Reductores (%)	Ln (AR)	t	Azúcares Reductores (%)	Ln (AR)	t	Azúcares Reductores (%)	Ln (AR)
0	14.6	2.6810	0	14.6	2.6810	0	14.6	2.6810
15	15.5	2.7408	10	16	2.7726	5	15.9	2.7663
30	16	2.7726	20	16.62	2.8106	10	18.3	2.9069
45	17.1	2.8391	30	17.5	2.8622	15	19.9	2.9907
60	17.9	2.8848	40	18.45	2.9151	20	20.4	3.0155
75	18.6	2.9232	50	19.6	2.9755	25	22.3	3.1046
90	21.3	3.0587	60	22.3	3.1046	30	27.5	3.3142

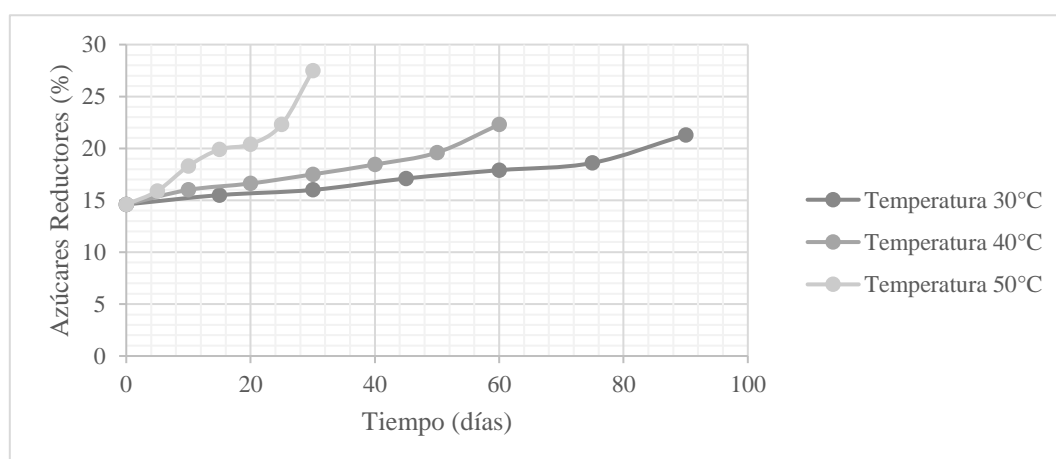


Figura 25: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°3 a 30, 40 y 50 °C

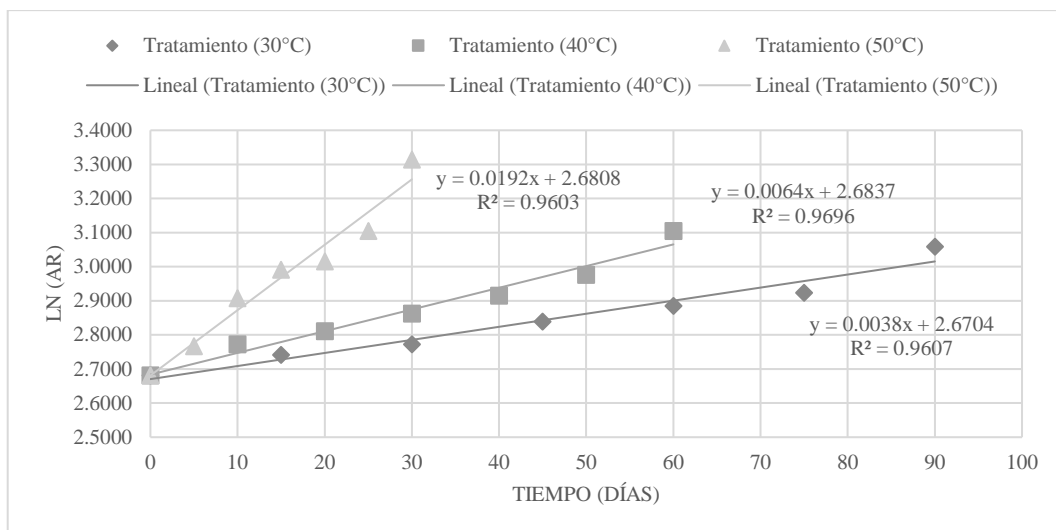


Figura 26: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°3

De las ecuaciones en la Figura 26, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 37 y el tiempo de vida útil del prototipo 3 (Tabla 38).

Tabla 37: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°3 en el primer ensayo

1/T	T °C	k (días ⁻¹)
0.0033	30	0.0038
0.0032	40	0.0064
0.0031	50	0.0192

Tabla 38: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°3 en el primer ensayo

Energía de activación (E_a) KJ/mol	1/T	T °C	k_{20} (días ⁻¹)	AR Inicial (%)	AR Crítica (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)

<<Continuación>>

65.63	0.0034	20	0.0014	14.6%	28%	424	14
-------	--------	----	--------	-------	-----	-----	----

Los cambios principales que influyen en el deterioro de los caramelos durante el almacenamiento son: la pérdida de forma o distorsión y cambios en la textura, teniendo como resultado un producto blando y pegajoso o granulado (cristalizado) (Subramaniam, 2016). Este defecto depende de la variación en dos factores fisicoquímicos de los caramelos duros: Contenido de humedad y azúcares reductores.

Para la determinación de la vida útil mediante pruebas aceleradas, se utilizó un modelo cinético basado en la ecuación de Arrhenius con tres tratamientos tres tratamientos a 30°C, 40°C y 50°C a una humedad de 70%, siendo la temperatura y humedad los factores de aceleración, para la obtención de una estimación adecuada de la vida útil en tiempo real, como menciona De Bouillé y Beeren (2016).

Spanemberg *et al.* (2019) menciona que el aumento de temperatura se usa a menudo para cambiar las tasas de reacciones en estudios de almacenamiento acelerado, conociéndose que un aumento de 10°C generalmente provoca una duplicación de las velocidades de reacción, sin embargo, no todas las reacciones siguen esta regla y las temperaturas fluctuantes también incrementan los cambios fisicoquímicos incluida la migración de la humedad. Adicional a ello, las tasas de migración de humedad también puedes ser manipuladas cambiando la humedad relativa a la que se almacena el producto, menciona que para caramelos duros una humedad elevada (75 – 80%) acelera la migración de humedad a través del envase y reduce significativamente la vida útil.

Subramaniam, (2016) también menciona que cuando el nivel de humedad del ambiente de almacenamiento aumenta por encima del valor de humedad relativa de equilibrio (45 – 55%), el producto atrapa humedad induciendo a la formación de gránulos en la superficie, esto al llegar al centro del producto hace este se vuelva blando y pegajoso, provocando su adhesión

al envoltorio. Este efecto se acelera a altas temperaturas y se retrasa a temperaturas más bajas. Acorde con lo expuesto, para la determinación de la vida útil acelerada se utilizaron 3 temperaturas (30, 40 y 50°C) que inducen los defectos en el caramelo y una humedad relativa (70%) mayor a la humedad relativa de equilibrio del producto.

Se definieron dos parámetros fisicoquímicos determinantes para la vida útil de un caramelo: Humedad y Azúcares reductores. De acuerdo con la NTP 208.001 1982 (Revisada el 2011), el contenido de humedad y azúcares reductores máximos en un caramelo son de 4% y 28% respectivamente; estos valores fueron utilizado como factores críticos para el cálculo de la constante de velocidad k a 20°C y así hallar el tiempo de vida útil de cada prototipo evaluado.

De las tablas 22, 25, 28, 31, 34 y 37 se determinó que de los parámetros evaluados: humedad y azúcares reductores, el parámetro determinante de la vida útil es azúcares reductores, ya que requiere menor energía para iniciar la reacción de deterioro, es decir presenta menor energía de activación. Zhang *et al.* (2021) menciona que un valor más alto de energía de activación (E_a) en el modelo de Arrhenius implica que se necesita un cambio de temperatura más alto para iniciar la degradación de un parámetro de calidad.

De las tablas 23, 26, 29, 32, 35 y 38, se determinó que el prototipo N°2 es el que presenta un mejor comportamiento para los parámetros críticos humedad y azúcares reductores, obteniéndose un tiempo de vida útil similar para ambos parámetros y siendo mayor (16 meses) respecto al producto control (12 meses), el prototipo N°1 (13 meses) y el prototipo N°3 (14 meses); por lo cual, se trabajó con el prototipo N°2 para el segundo ensayo.

4.3.2. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS PROTOTIPOS PROPUESTOS EN EL SEGUNDO ENSAYO

Mediante pruebas aceleradas para determinar la vida útil de los prototipos en el segundo ensayo.

a. PROTOTIPO N°1

a.1. A partir del contenido de Humedad (%)

De los datos del contenido de humedad obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 1 (Tabla 39) y la tendencia de los valores de humedad se obtienen las ecuaciones que se muestran en la figura 28.

Tabla 39: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°1 para el segundo ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
t	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)
0	1.08	0.0770	0	1.08	0.0770	0	1.08	0.0770
15	1.16	0.1484	10	1.29	0.2546	5	1.42	0.3507
30	1.33	0.2852	20	1.5	0.4055	10	1.73	0.5481
45	1.4	0.3365	30	1.63	0.4886	15	2.32	0.8416
60	1.77	0.5710	40	1.87	0.6259	20	2.66	0.9783
75	1.92	0.6523	50	2.15	0.7655	25	2.89	1.0613
90	2.39	0.8713	60	2.77	1.0188	30	3.91	1.3635

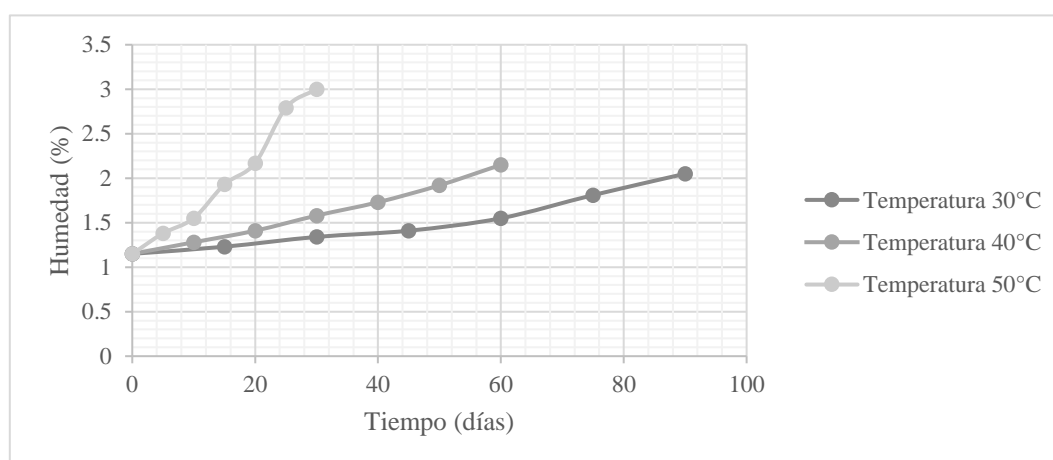


Figura 27: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C

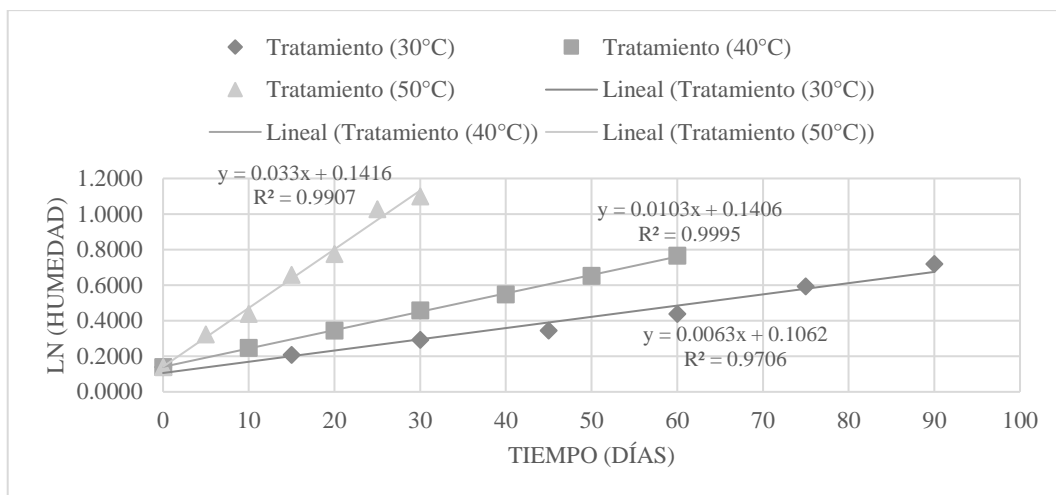


Figura 28: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1

De las ecuaciones en la Figura 28, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 40 y el tiempo de vida útil del prototipo 1 (Tabla 41).

Tabla 40: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°1 en el segundo ensayo

$1/T$	T °C	k (días ⁻¹)
0.0033	30	0.0063
0.0032	40	0.0103
0.0031	50	0.0330

Tabla 41: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°1 en el segundo ensayo

Energía de activación (E_a) KJ/mol	$1/T$	T °C	k_{20} (días ⁻¹)	Humedad Inicial (%)	Humedad Crítica (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
67.06	0.0034	20	0.0023	1.15%	4%	552	18

a.2 A partir del contenido de Azúcares Reductores (%)

De los datos del contenido de azúcares reductores obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 1 (Tabla 42) y la tendencia de los valores de la Figura 29, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la Figura 30.

Tabla 42: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°1 para el segundo ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
t	Azúcares Reductores (%)	Ln (AR)	t	Azúcares Reductores (%)	Ln (AR)	t	Azúcares Reductores (%)	Ln (AR)
0	14.3	2.6603	0	14.3	2.6603	0	14.3	2.6603
15	14.5	2.6741	10	15	2.7081	5	15.6	2.7473
30	15	2.7081	20	15.85	2.7632	10	16.7	2.8154
45	15.7	2.7537	30	17	2.8332	15	17.9	2.8848
60	16.2	2.7850	40	18.3	2.9069	20	19.3	2.9601
75	17	2.8332	50	19	2.9444	25	20.2	3.0057
90	18.8	2.9339	60	20	2.9957	30	21.82	3.0828

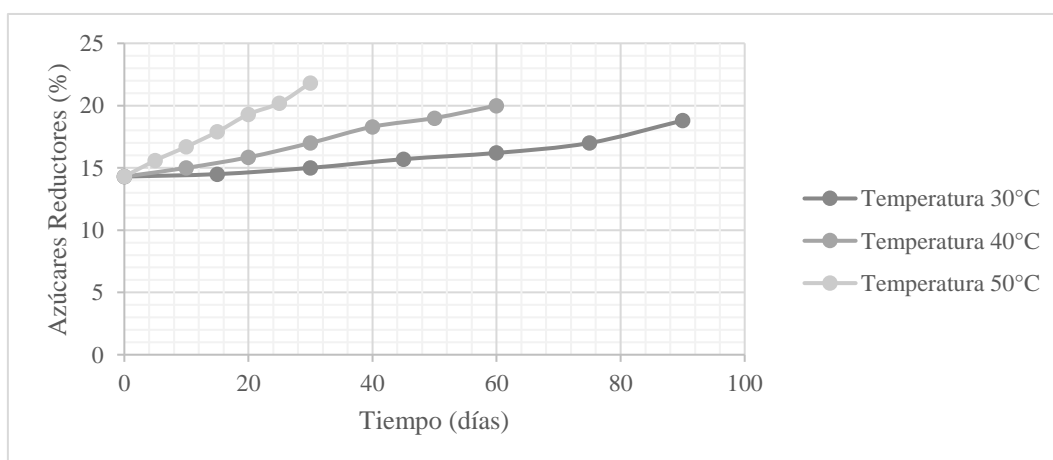


Figura 29: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C

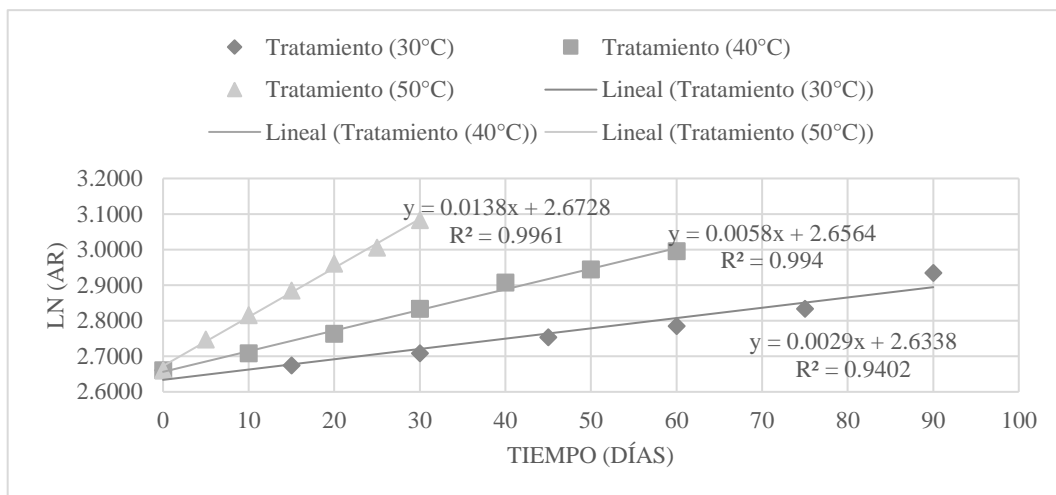


Figura 30: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°1

De las ecuaciones en la Figura 30, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 43 y el tiempo de vida útil del prototipo 1 (Tabla 44).

Tabla 43: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°1 en el segundo ensayo

1/T	T °C	k (días ⁻¹)
0.0033	30	0.0029
0.0032	40	0.0058
0.0031	50	0.0138

Tabla 44: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°1 en el segundo ensayo

Energía de activación (E_a) KJ/mol	1/T	T °C	k_{20} (días ⁻¹)	AR Inicial (%)	AR Crítica (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
63.37	0.0034	20	0.0012	14.3%	28%	567	19

b. PROTOTIPO N°2

b.1 A partir del contenido de Humedad (%)

De los datos del contenido de humedad obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 2 (Tabla 45) y la tendencia de los valores de la Figura 3, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la Figura 32.

Tabla 45: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°2 para el segundo ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
t	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)
0	1.21	0.1906	0	1.21	0.1906	0	1.21	0.1906
15	1.27	0.2390	10	1.43	0.3577	5	1.59	0.4637
30	1.33	0.2852	20	1.56	0.4447	10	1.89	0.6366
45	1.47	0.3853	30	1.72	0.5423	15	2.31	0.8372
60	1.66	0.5068	40	1.88	0.6313	20	2.66	0.9783
75	1.81	0.5933	50	2.21	0.7930	25	3	1.0986
90	2	0.6931	60	2.56	0.9400	30	3.40	1.2238

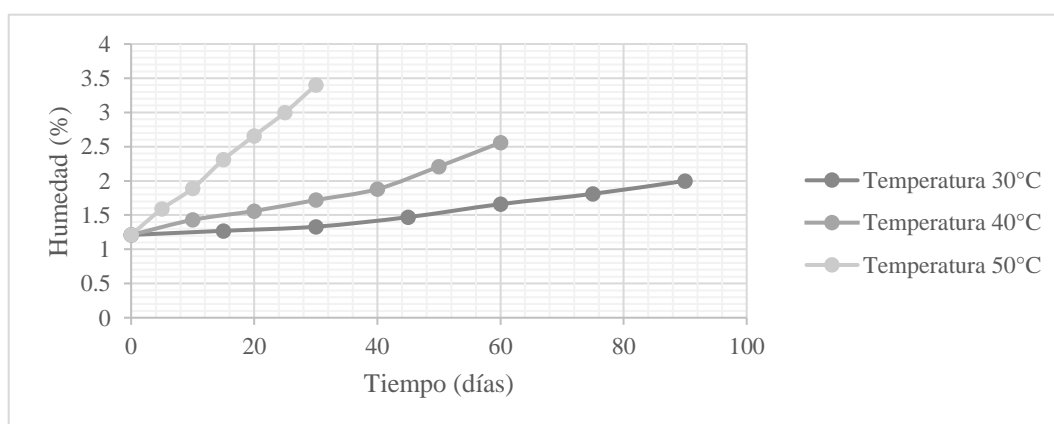


Figura 31: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C

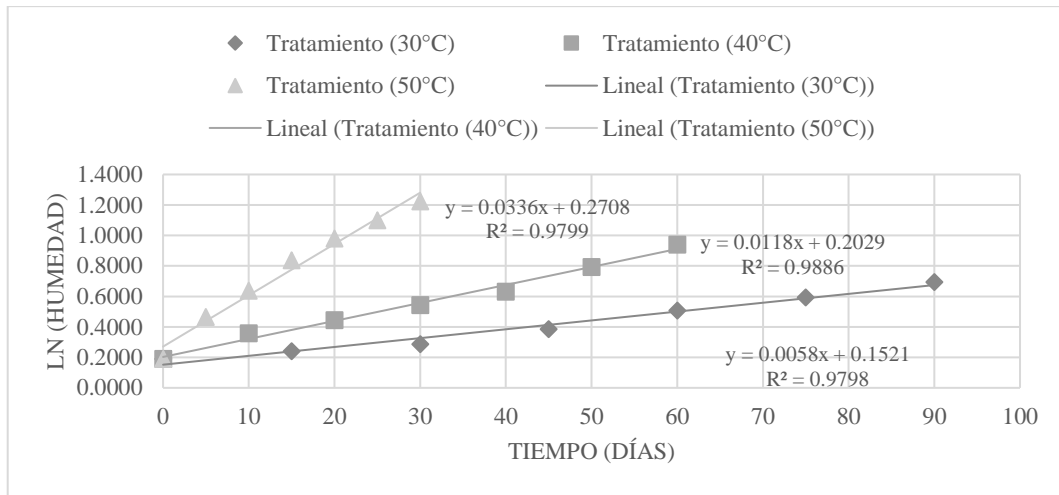


Figura 32: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2

De las ecuaciones en la Figura 32, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 46 y el tiempo de vida útil del prototipo 2 (Tabla 47).

Tabla 46: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°2 en el segundo ensayo

1/T	T °C	k (días ⁻¹)
0.0033	30	0.0058
0.0032	40	0.0118
0.0031	50	0.0336

Tabla 47: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°2 en el segundo ensayo

Energía de activación (E_a) KJ/mol	1/T	T °C	k_{20} (días ⁻¹)	Humedad Inicial (%)	Humedad Crítica (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
71.30	0.0034	20	0.0021	1.21%	4%	577	19

b.2 A partir del contenido de Azúcares Reductores (%)

De los datos del contenido de azúcares reductores obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 2 (Tabla 48) y la tendencia de los valores de la Figura 33, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la Figura 34.

Tabla 48: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°2 para el segundo ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
T	Azúcares Reductores (%)	Ln (AR)	t	Azúcares Reductores (%)	Ln (AR)	t	Azúcares Reductores (%)	Ln (AR)
0	14	2.6391	0	14	2.6391	0	14	2.6391
15	14.9	2.7014	10	16.3	2.7912	5	16	2.7726
30	15.5	2.7408	20	17.8	2.8792	10	18.3	2.9069
45	16.3	2.7912	30	19	2.9444	15	19.9	2.9907
60	17.05	2.8362	40	19.7	2.9806	20	21.4	3.0634
75	18.2	2.9014	50	21.4	3.0634	25	22.7	3.1224
90	19	2.9444	60	22.81	3.1272	30	23.5	3.1570

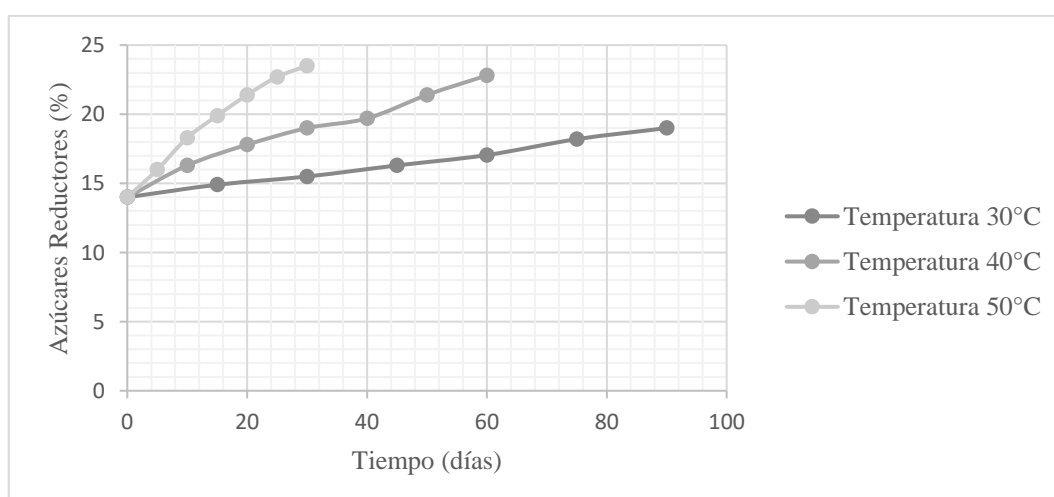


Figura 33: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C

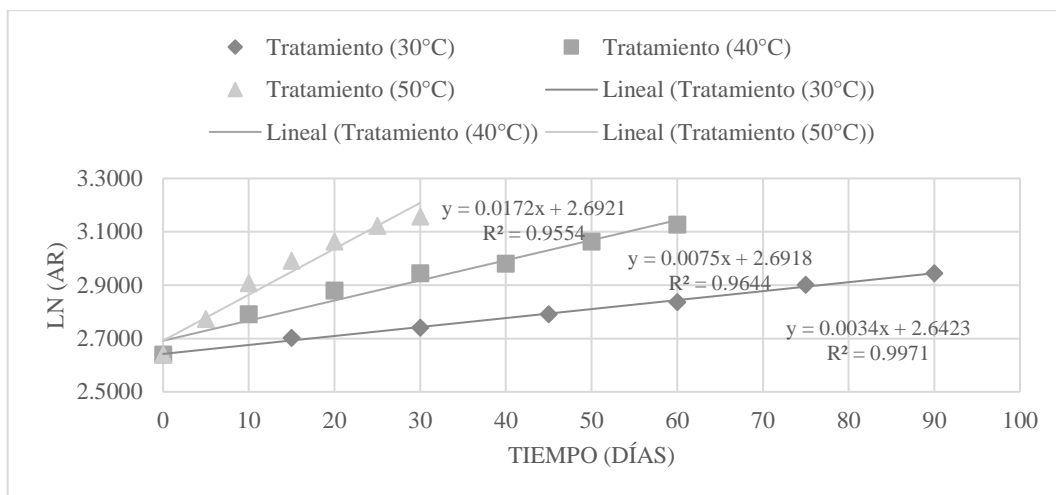


Figura 34: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°2

De las ecuaciones en la Figura 34, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 49 y el tiempo de vida útil del prototipo 2 (Tabla 50).

Tabla 49: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°2 en el segundo ensayo

1/T	T °C	k (días ⁻¹)
0.0033	30	0.0034
0.0032	40	0.0075
0.0031	50	0.0172

Tabla 50: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°2 en el segundo ensayo

Energía de activación (E_a) KJ/mol	1/T	T °C	k_{20} (días ⁻¹)	AR Inicial (%)	AR Crítica (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
65.92	0.0034	20	0.0014	14%	28%	505	17

De las tablas 41, 44, 47 y 50 se observó que existe una diferencia menor entre el tiempo de vida útil determinado mediante pruebas aceleradas, de los dos prototipos evaluados, siendo la vida útil obtenida para el prototipo N°1 de 18 meses y 17 meses para el prototipo N°2. Sin embargo, se observó variación en el sabor del producto por lo cual se realizó una evaluación sensorial de los dos prototipos con el producto estándar.

4.3.3. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LOS PROTOTIPOS PROPUESTOS EN EL SEGUNDO ENSAYO

Se realizó una evaluación sensorial en el segundo ensayo por cada prototipo formulado; con la finalidad de determinar mediante una prueba de diferencia, si las muestras son diferentes al producto estándar. Para estas pruebas se tomó como referencia los resultados que se muestran en las tablas 51 y 52 y la tabla de interpretación estadística de los datos que se muestra en el Anexo 1.

a. EVALUACIÓN TRIANGULAR DEL PROTOTIPO N°1 VS PRODUCTO ESTÁNDAR

Respuestas correctas: 10

Respuestas incorrectas: 5

Total, juicios: 15

Tabla 51: Respuestas mínimas correctas para determinar diferencia estadística entre las muestras

No de juicios	*	**	***
	5%	1%	0,1%
15	9	10	12

Las muestras si son diferentes estadísticamente con una seguridad del 95% ($\alpha=0.05$).

Conclusión: La muestra del PROTOTIPO N°2 si es diferente estadísticamente de la muestra del PRODUCTO ESTÁNDAR con una seguridad del 95% ($\alpha=0.05$).

Comentarios de los jueces que acertaron la muestra diferente: Los jueces que acertaron en la prueba comentan que la muestra del PROTOTIPO N°2 es menos ácida, respecto a la muestra del PRODUCTO ESTÁNDAR.

b. EVALUACIÓN TRIANGULAR DEL PROTOTIPO N°2 VS PRODUCTO ESTÁNDAR

Respuestas correctas: 2

Respuestas incorrectas: 13

Total, juicios: 15

Tabla 52: Respuestas mínimas correctas para determinar diferencia estadística entre las muestras

	*	**	***
No de juicios	5%	1%	0,1%
15	9	10	12

Las muestras no son diferentes estadísticamente con una seguridad del 95% ($\alpha=0.05$).

Conclusión: La muestra del PROTOTIPO N°1 no es diferente estadísticamente del PRODUCTO ESTÁNDAR con una seguridad del 95% ($\alpha=0.05$).

Comentarios de los jueces que acertaron la muestra diferente: Los jueces que acertaron en la prueba comentan que la muestra del PROTOTIPO N°1 es ligeramente menos dulce, respecto a la muestra del PRODUCTO ESTÁNDAR.

De la evaluación sensorial del prototipo N°1 y N°2, se determinó continuar el tercer ensayo con el prototipo N°2.

Bond y Prange (2012) recomiendan el uso de ácido láctico tamponado en una dosis de 0.5 a 2% para caramelos depositados transparentes, por lo que se trabajó con dos formulaciones con uso de ácido láctico en una dosis de 0.8% y 0.6%.

Carrillo y Reyes (2013) recomiendan la evaluación sensorial como herramienta para estudios de vida útil. Las pruebas sensoriales más usadas son las pruebas discriminativas o de diferencia, descriptivas y afectivas.

Las pruebas discriminativas o de diferencia como las más simples, que intentan responder si hay diferencia entre dos tipos de productos, siendo uno de ellos un producto control. Estas pruebas se clasifican en: prueba de triángulo, dúo – trio o comparación pareada.; con un análisis basado en estadística de frecuencias y proporciones, es decir el conteo de respuestas correctas y erróneas (Carrillo y Reyes, 2007).

Debido a que sensorialmente el uso de ácido láctico en caramelos duros influye en el sabor, adicional a la determinación de la vida útil mediante pruebas aceleradas de los dos prototipos propuestos con uso de ácido láctico, se planteó una evaluación sensorial para evaluar su aceptación respecto al producto control.

Para las evaluaciones sensoriales se utilizó como herramienta una prueba triangular por cada prototipo, obteniéndose como resultado la aceptación del prototipo N°2, al no encontrarse diferencias de sabor general respecto al producto control o estándar.

4.3.4. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS PROTOTIPOS PROPUESTOS EN EL TERCER ENSAYO

Del segundo ensayo se determinó continuar el tercer ensayo con el prototipo N°2, el cual obtuvo mejor aceptabilidad en la evaluación sensorial. Para el tercer ensayo, se evaluaron dos Prototipos (1 y 2), con la formulación seleccionada, en dos diferentes tipos de material de envase.

Tabla 53: Tipo de material de envase utilizado por prototipo evaluado

	Prototipo N°1	Prototipo N°2
Material de envase	BOPP Cristal 15 – BOPP Metal 15	BOPP Cristal 20 – BOPP Metal 15

Tabla 54: Evaluación comparativa de la estructura Metalizada 15 vs Metalizada 20

Parámetros	Unidad	Envoltura BOPP	
		Metal 15	Metal 20
T° inicio de sello	°C	105	105
Fuerza de sello @ 135°C	N/ (25mm)	3.0	4.0
Transmisión Vapor de Agua @ 38°C, 90% HR	g/ (m ² . día)	0.40	0.40
Transmisión Oxígeno @ 23°C, 0% HR	cm ³ / (m ² . día)	100	100

FUENTE: Hoja técnica de material de origen BOPP Metalizado – OPP FILM

Tabla 55: Estructura comparativa de la estructura Cristal 15 vs Cristal 20

Parámetros	Unidad	Envoltura BOPP	
		Cristal 15	Cristal 20
T° inicio de sello	°C	105	105
Fuerza de sello @ 135°C	N/ (25mm)	4.0	5.0
Transmisión Vapor de Agua @ 38°C, 90% HR	g/ (m ² . día)	8.5	6.5
Transmisión Oxígeno @ 23°C, 0% HR	cm ³ / (m ² . día)	2900	2200

FUENTE: Hoja técnica de material de origen BOPP Cristal – OPP FILM

a. PROTOTIPO N°1

a.1. A partir del contenido de Humedad (%)

De los datos del contenido de humedad obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 1 (Tabla 56) y la tendencia de los valores de la Figura 35, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la Figura 36.

Tabla 56: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°1 para tercer ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
T	Humedad (%)	Ln (Humedad)	T	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)
0	1.05	0.0488	0	1.05	0.0488	0	1.05	0.0488
15	1.13	0.1222	10	1.33	0.2852	5	1.38	0.3221

<<continuación>>

30	1.25	0.2231	20	1.49	0.3988	10	1.63	0.4886
45	1.5	0.4055	30	1.65	0.5008	15	2.09	0.7372
60	1.54	0.4318	40	1.8	0.5878	20	2.49	0.9123
75	1.72	0.5423	50	2.17	0.7747	25	2.86	1.0508
90	1.87	0.6259	60	2.42	0.8838	30	3.00	1.0986

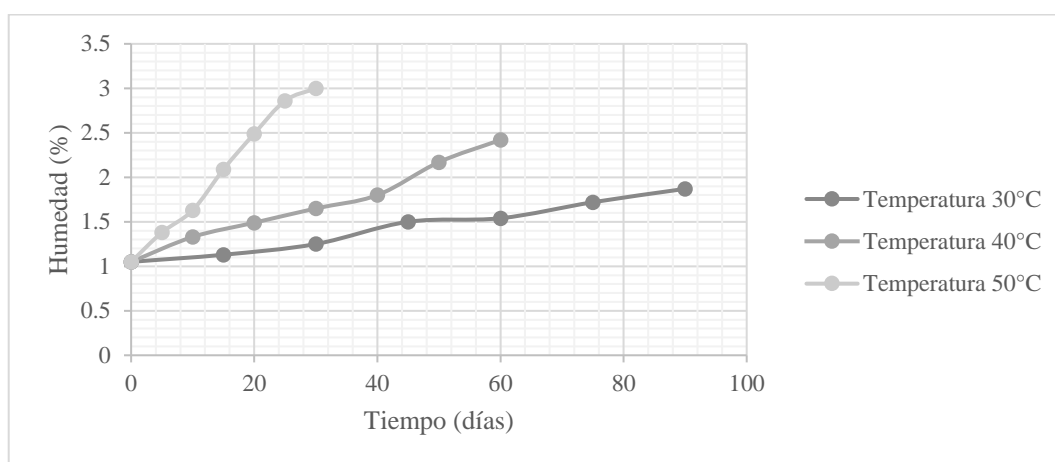


Figura 35: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C

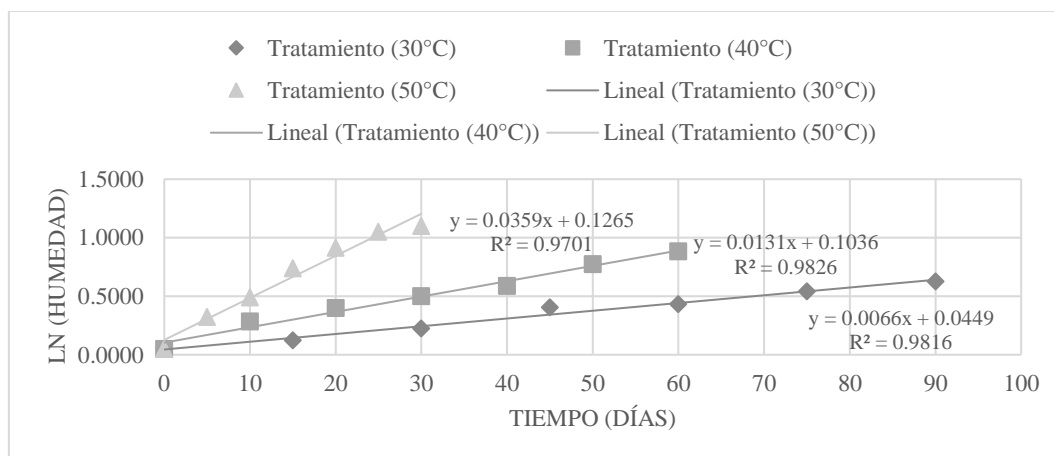


Figura 36: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1

De las ecuaciones en la Figura 36, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 57 y la vida útil del prototipo 1 (Tabla 58).

Tabla 57: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°1 en el tercer ensayo

1/T	T °C	k (días ⁻¹)
0.0033	30	0.0066
0.0032	40	0.0131
0.0031	50	0.0359

Tabla 58: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°1 en el tercer ensayo

Energía de activación (E_a) KJ/mol	1/T	T °C	k_{20} (días ⁻¹)	Humedad Inicial (%)	Humedad Crítica (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
68.74	0.0034	20	0.0024	1.05%	4%	546	18

a.2 A partir del contenido de Azúcares Reductores (%)

De los datos del contenido de azúcares reductores obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 1 (Tabla 59) y la tendencia de los valores de la Figura 37, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la Figura 38.

Tabla 59: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°1 para el tercer ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
Azúcares			Azúcares			Azúcares		
T	Reductores (%)	Ln (AR)	t	Reductores (%)	Ln (AR)	t	Reductores (%)	Ln (AR)

<<continuación>>

0	14.6	2.6810	0	14.6	2.6810	0	14.6	2.6810
15	15.2	2.7213	10	16.8	2.8214	5	17.2	2.8449
30	15.9	2.7663	20	18.1	2.8959	10	19.6	2.9755
45	16.5	2.8034	30	19	2.9444	15	21.8	3.0819
60	17.78	2.8781	40	19.5	2.9704	20	22.5	3.1135
75	18.3	2.9069	50	20.8	3.0350	25	23	3.1355
90	18.8	2.9339	60	22.4	3.1091	30	23.4	3.1527

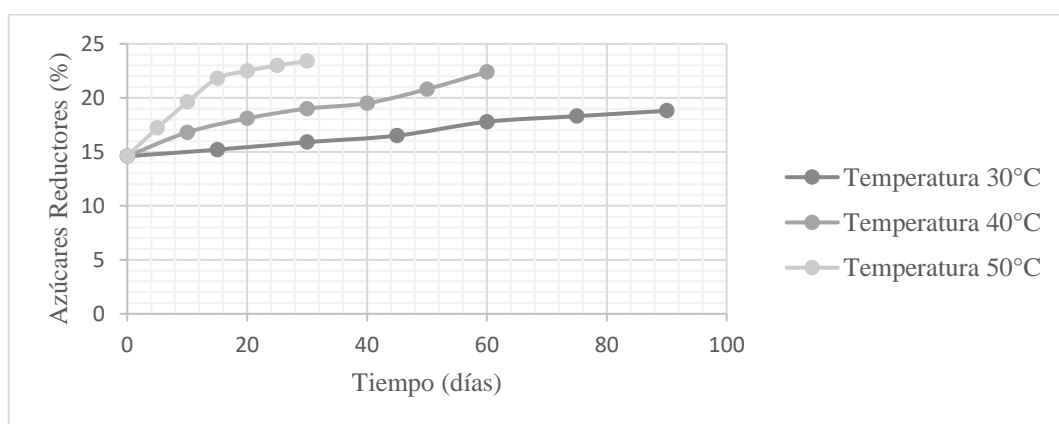


Figura 37: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°1 a 30, 40 y 50 °C

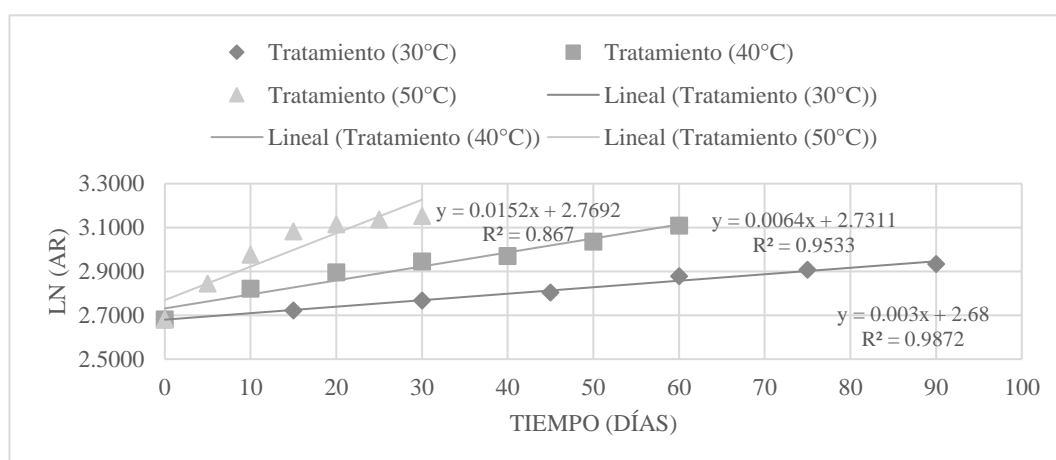


Figura 38: Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°1

De las ecuaciones en la Figura 38, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 60 y la vida útil del prototipo 1 (Tabla 61).

Tabla 60: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para prototipo N°1 en el tercer ensayo

1/T	T °C	k (días ⁻¹)
0.0033	30	0.003
0.0032	40	0.0064
0.0031	50	0.0152

Tabla 61: Determinación de la energía de activación (Ea), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°1 en el tercer ensayo

Energía de activación (Ea) KJ/mol	1/T	T °C	k_{20} (días ⁻¹)	AR Inicial (%)	AR Crítica (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
65.95	0.0034	20	0.0012	14.6%	28%	544	18

b. PROTOTIPO N°2

b.1 A partir del contenido de Humedad (%)

De los datos del contenido de humedad obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 2 (Tabla 62) y la tendencia de los valores de la Figura 39, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la figura 40.

Tabla 62: Variación del contenido de humedad por tratamiento del Prototipo N°2 para el tercer ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
T	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)	t	Humedad (%)	Ln (Humedad)
0	1.05	0.0488	0	1.05	0.0488	0	1.05	0.0488
15	1.17	0.1570	10	1.27	0.2390	5	1.38	0.3221
30	1.21	0.1906	20	1.33	0.2852	10	1.5	0.4055
45	1.36	0.3075	30	1.58	0.4574	15	1.86	0.6206
60	1.59	0.4637	40	1.66	0.5068	20	2.14	0.7608
75	1.71	0.5365	50	1.79	0.5822	25	2.65	0.9746
90	1.8	0.5878	60	2.3	0.8329	30	2.98	1.0919

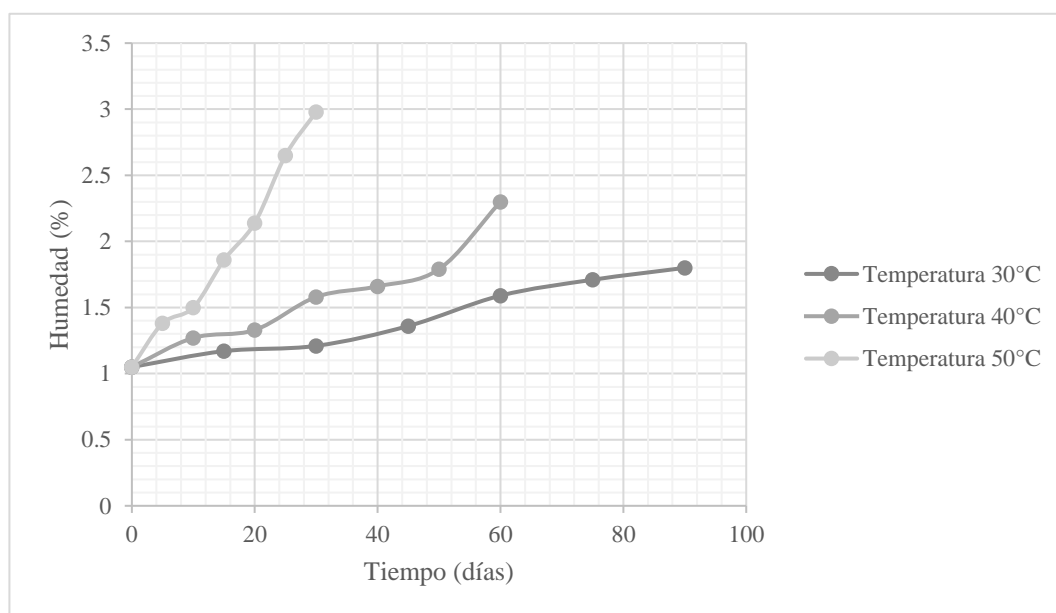


Figura 39: Tendencia de los valores de humedad respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C

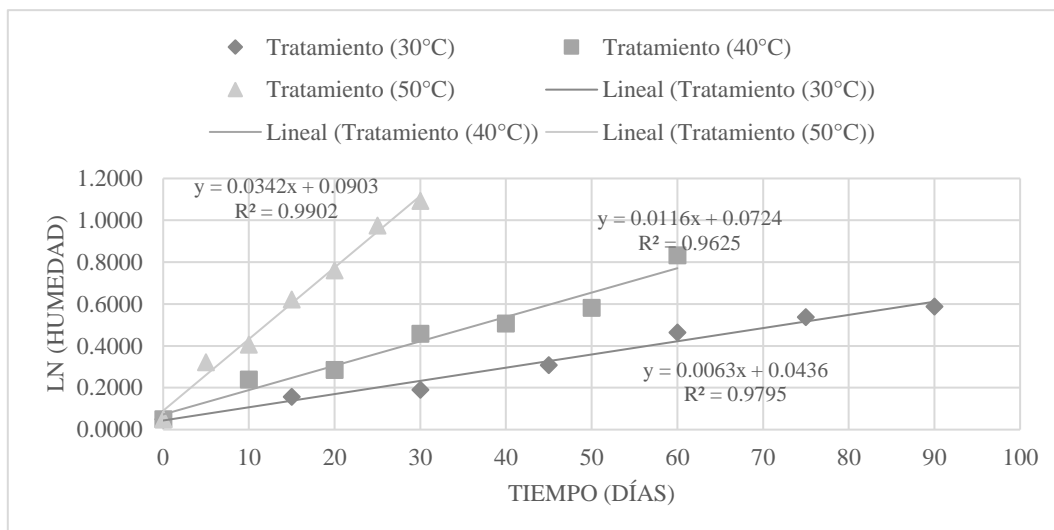


Figura 40: Variación del Ln(humedad) respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2

De las ecuaciones en la Figura 40, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la tabla 63 y la vida útil del prototipo 2 (Tabla 64).

Tabla 63: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para el prototipo N°2 en el tercer ensayo

1/T	T °C	k (días ⁻¹)
0.0033	30	0.0063
0.0032	40	0.0116
0.0031	50	0.0342

Tabla 64: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de humedad del prototipo N°2 en el tercer ensayo

Energía de activación (E_a) KJ/mol	1/T	T °C	k_{20} (días ⁻¹)	Humedad Inicial (%)	Humedad Crítica (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
68.60	0.0034	20	0.0023	1.05%	4%	586	20

b.2. A partir del contenido de Azúcares Reductores (%)

De los datos del contenido de azúcares reductores obtenidos de los tres tratamientos a los cuales se sometió el prototipo 2 (Tabla 65) y la tendencia de los valores de la Figura 41, se obtienen las ecuaciones que se muestran en la figura 42.

Tabla 65: Variación del contenido de azúcares reductores por tratamiento del Prototipo N°2 para el tercer ensayo

T: 30 °C - HR: 70%			T: 40 °C - HR: 70%			T: 50 °C - HR: 70%		
t	Azúcares Reductores (%)		t	Azúcares Reductores (%)		t	Azúcares Reductores (%)	
	Reductores (%)	Ln (AR)		Reductores (%)	Ln (AR)		Reductores (%)	Ln (AR)
0	14.6	2.6810	0	14.6	2.6810	0	14.6	2.6810
15	15.2	2.7213	10	15.5	2.7408	5	16.5	2.8034
30	16	2.7726	20	16.7	2.8154	10	17.7	2.8736
45	16.90	2.8273	30	17.3	2.8507	15	18.5	2.9178
60	17.4	2.8565	40	17.9	2.8848	20	19	2.9444
75	18.5	2.9178	50	19.2	2.9549	25	21.8	3.0819
90	19.1	2.9497	60	20	2.9957	30	23	3.1355

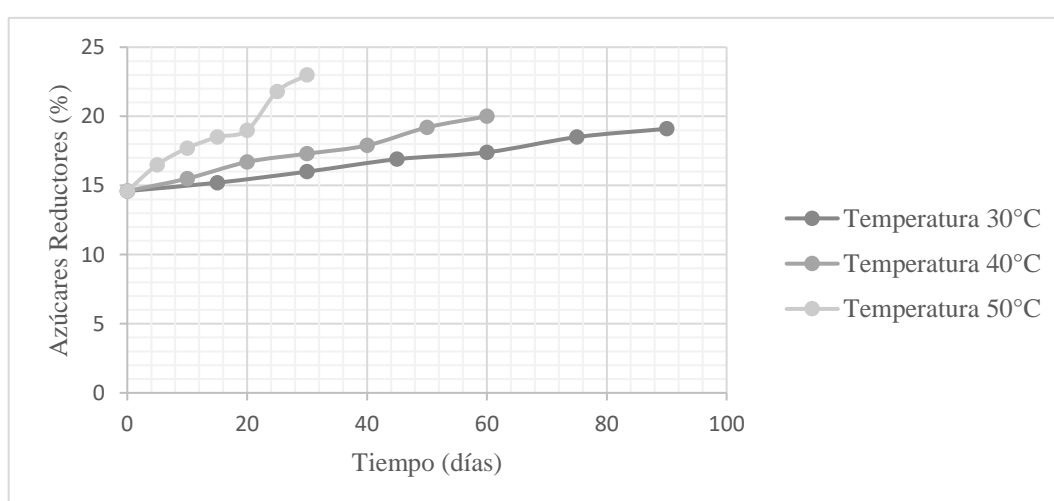


Figura 41: Tendencia de los valores de azúcares reductores respecto al tiempo de almacenamiento del prototipo N°2 a 30, 40 y 50 °C

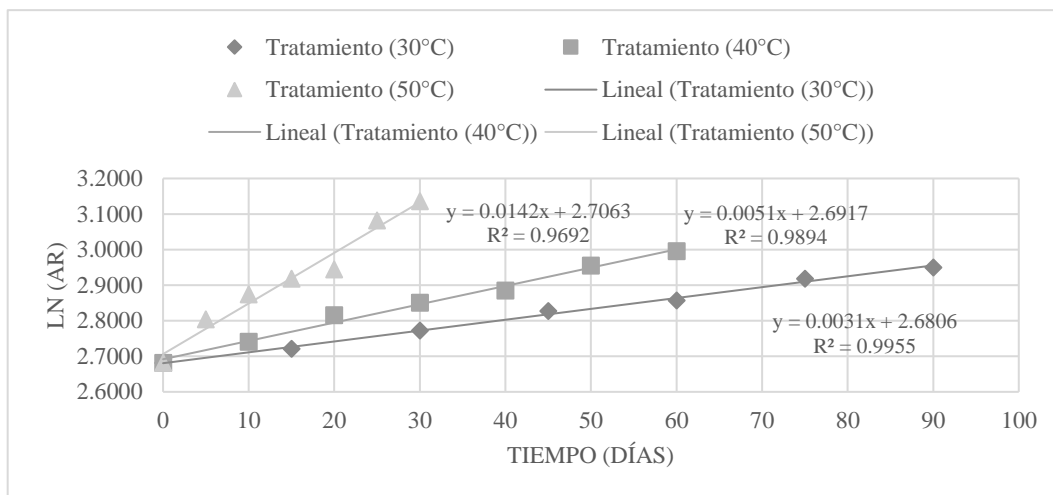


Figura 42. Variación del Ln (Azúcares reductores) respecto al tiempo de almacenamiento del Prototipo N°2

De las ecuaciones en la Figura 42, se obtienen los valores de la constante de velocidad de reacción k por tratamiento que se muestran en la figura 66 y el tiempo de vida útil del prototipo 2 (Tabla 67).

Tabla 66: Constante de velocidad de reacción k por tratamiento evaluado para prototipo N°2 en el tercer ensayo

$1/T$	T °C	k (días ⁻¹)
0.0033	30	0.0031
0.0032	40	0.0051
0.0031	50	0.0142

Tabla 67: Determinación de la energía de activación (E_a), k_{20} (20°C) y el tiempo de vida con respecto al parámetro de azúcares reductores del prototipo N°2 en el tercer ensayo

Energía de activación (E_a) KJ/mol	$1/T$	T °C	k_{20} (días ⁻¹)	AR Inicial (%)	AR Crítica (%)	t_{20} (días)	t_{20} (meses)
----------------------------------------	-------	--------	--------------------------------	----------------	----------------	-----------------	------------------

<<Continuación>>

61.67	0.0034	20	0.0012	14.6%	28%	566	19
-------	--------	----	--------	-------	-----	-----	----

Subramaniam (2016) menciona la importancia del uso de envases adecuados para mantener la calidad de los productos y alcanzar la vida útil deseada. Además, detallan que la permeabilidad de vapor de agua requerida para los productos de confitería depende de la humedad relativa de equilibrio del producto, para caramelos duros se requieren propiedades de barrera adecuadas para reducir la absorción de humedad, sin embargo, con una permeabilidad muy baja el producto tiende a sudar favoreciendo el crecimiento de mohos en el producto.

De la evaluación comparativa de las estructuras utilizadas para el material de empaque y la estructura propuesta, se observó que no existen diferencias en la transmisión de vapor de agua y oxígeno (Subramaniam, 2016) para la estructura metalizada, al contrario de la estructura cristal, donde si se observaron diferencias. Por ello, para el prototipo N°1 se mantuvo la estructura ya utilizada BOPP Cristal 15/Metal 15 y para el prototipo N°2 se utilizó una nueva estructura BOPP Cristal 20/ Metal 15.

Con los resultados obtenidos en las tablas 58, 61, 64 y 67 se determinó que el prototipo N°2, con uso de un nuevo empaque (BOPP Cristal 20/ BOPP Metal 15) es el que presenta mayor tiempo de vida en anaquel, acorde a las pruebas aceleradas realizadas.

De los resultados obtenidos del prototipo 2 en el tercer ensayo, se observó que a un contenido de azúcares reductores mayor a 20% y humedad mayor a 2% se evidencia la pérdida de calidad y presencia de defectos como la pegajosidad en el producto, siendo estos valores menores a los que se indican en la NTP 208.101 (2019) de 28% para azúcares reductores y 2% para humedad. Por otro lado, Ergun et al. (2010) encontraron un contenido de humedad en caramelos duros entre 3% al 5% en productos comerciales y Netramai et al. (2018) estimaron un contenido crítico de humedad de 4%.

4.4. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL MEDIANTE PRUEBAS DE CAMPO

Del tercer ensayo se definió continuar la evaluación en pruebas de campo en las ciudades de Piura e Iquitos, con el prototipo N°2. En la Tabla 68 se muestran las condiciones de evaluación.

Tabla 68: Condiciones de temperatura y humedad relativa de la evaluación

Ciudad	Temperatura	Humedad Relativa
Piura	17 – 33°C	HR >70%
Iquitos	20 – 34°C	HR >90%

4.4.1. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN LA CIUDAD DE PIURA

En la Tabla 69 y las figuras 43 y 44, se observa la variación del contenido de humedad y azúcares reductores del prototipo reformulado respecto al producto control durante la evaluación en la ciudad de Piura.

Tabla 69: Variación de la humedad y azúcares reductores del producto durante el tiempo de evaluación

Mes de Evaluación	Días de evaluación	Humedad (%) (Producto Control)	Humedad (%) (Prototipo seleccionado)	Azúcares Reductores (%) (Producto Control)	Azúcares Reductores (%) (Prototipo seleccionado)
0	0	1.12	1.08	16.04	14.30
3	90	1.39	1.33	18.9	15.02
6	180	1.75	1.47	21	16.42
9	270	2.34	1.69	23.03	19.2
12	360	2.79	1.96	28.8	20.09

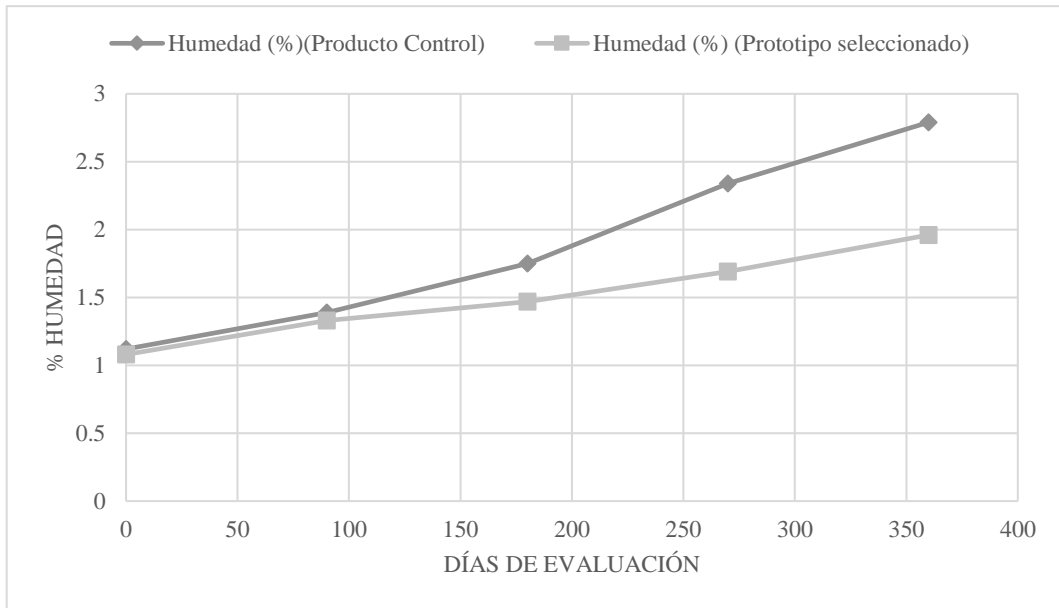


Figura 43: Variación del contenido de humedad

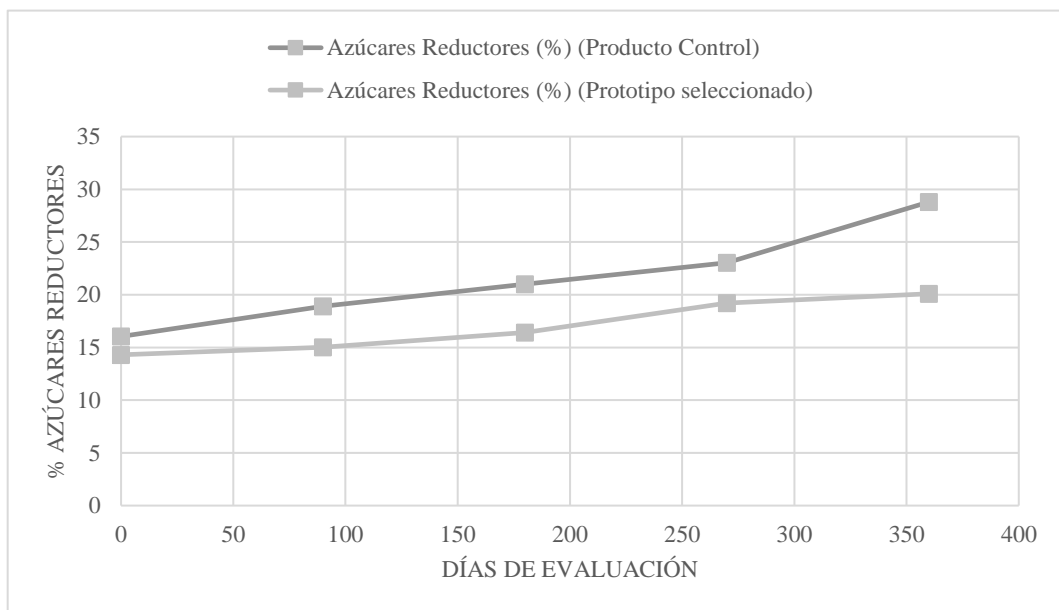


Figura 44: Variación del contenido de azúcares reductores

En la figura 45 se observan las mejoras en la calidad del producto reformulado respecto al producto control, principalmente en el defecto de pegajosidad, al término de la evaluación en la ciudad de Piura

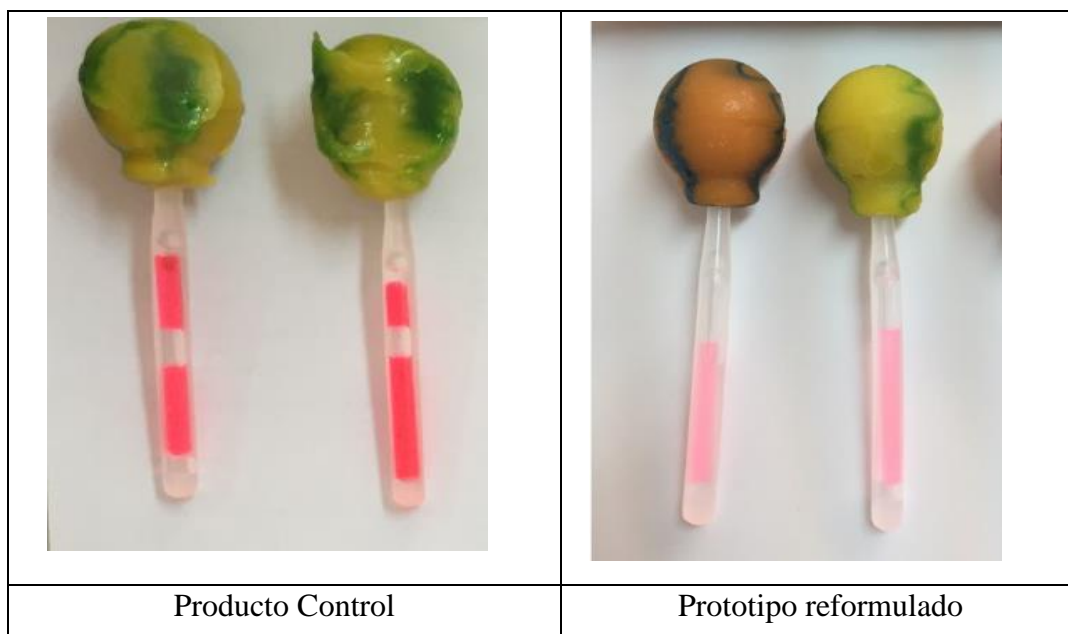


Figura 45: Comparativo del producto control vs el producto reformulado a los 360 días de evaluación

4.4.2. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL EN LA CIUDAD DE IQUITOS

En la Tabla 70 y las figuras 46 y 47, se observa la variación del contenido de humedad y azúcares reductores del prototipo reformulado respecto al producto control durante la evaluación en la ciudad de Iquitos.

Tabla 70: Variación de la humedad y azúcares reductores del producto durante el tiempo de evaluación

Mes de Evaluación	Días de evaluación	Humedad (%) (Producto Control)	Humedad (%) (Prototipo seleccionado)	Azúcares Reductores (%) (Producto Control)	Azúcares Reductores (%) (Prototipo seleccionado)
0	0	1.12	1.08	16.04	14.30
3	90	1.77	1.32	20.8	15.09
6	180	2.6	1.73	25.06	16.5

<<Continuación>>

9	270	2.83	1.9	27.1	17.3
12	360	3.35	2.14	30.7	21.9

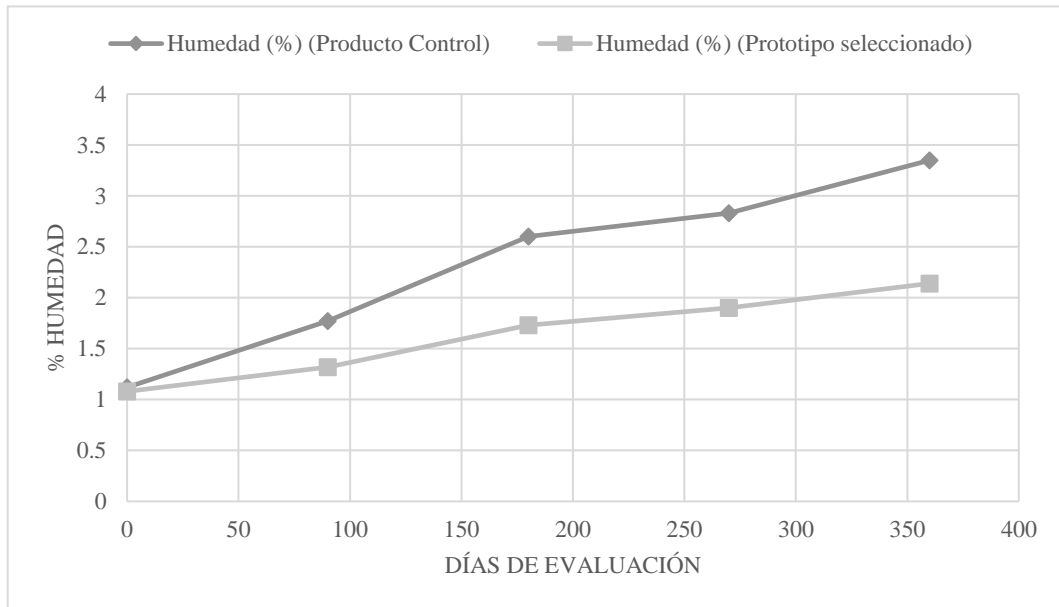


Figura 46: Variación del contenido de humedad

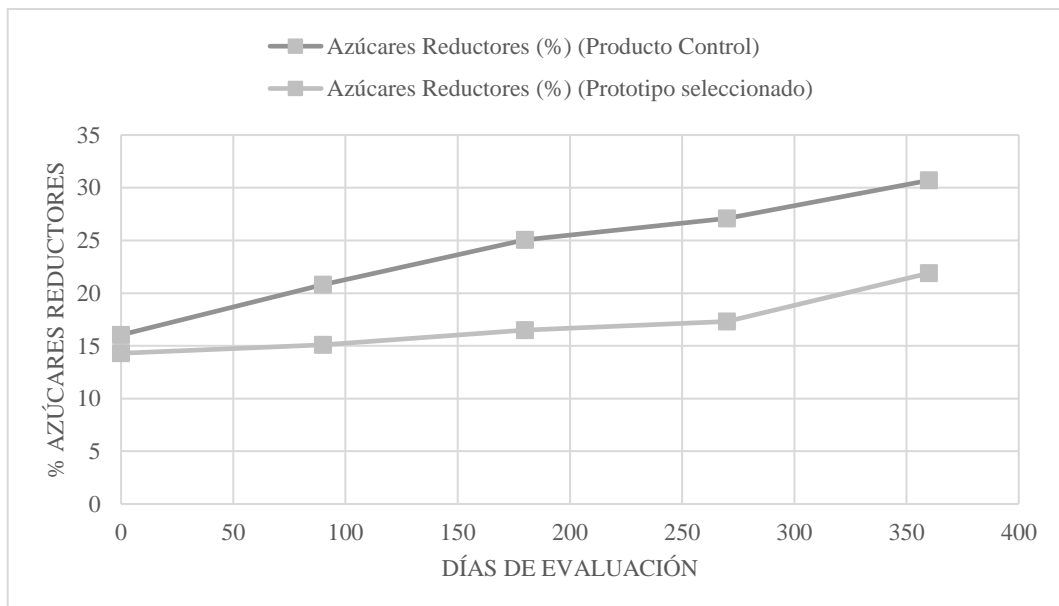


Figura 47: Variación del contenido de azúcares reductores

En la figura 48 se observan las mejoras en la calidad del producto reformulado respecto al producto control, principalmente en el defecto de pegajosidad, al término de la evaluación en la ciudad de Piura

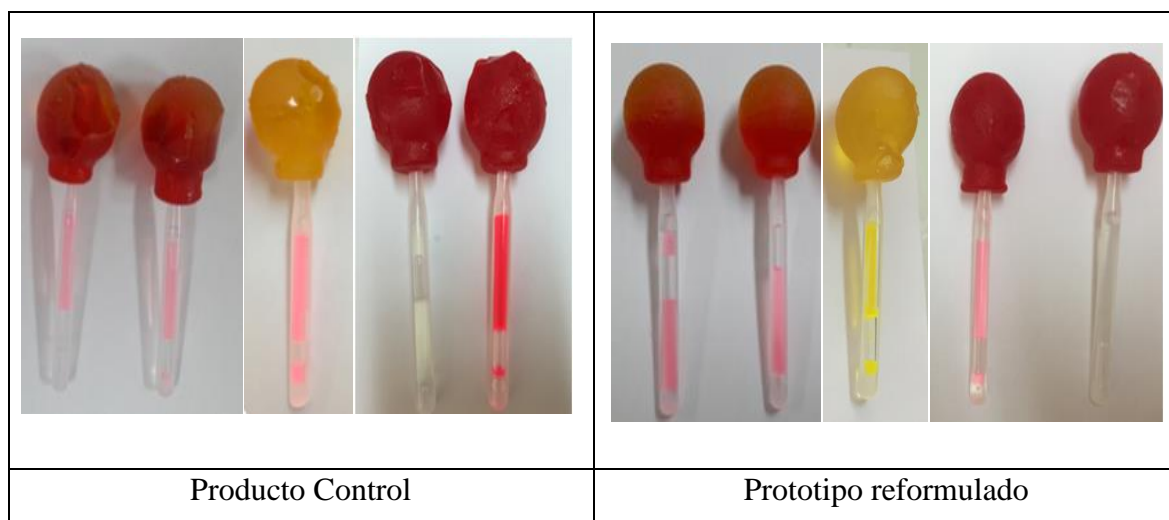


Figura 48: Comparativo del producto control vs el producto reformulado a los 360 días de evaluación

Con las pruebas de campo se comprobó en condiciones adversas reales que el prototipo reformulado, conserva sus características de forma y no presenta el defecto crítico de pegajosidad hasta los 360 días de evaluación.

4.5. APLICACIÓN DE LA COMPETENCIAS PROFESIONALES

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional se encuentra enmarcado dentro de las actividades realizadas por el Bachiller en Ciencias – Industrias Alimentarias en la empresa CONFITECA DEL PERÚ S.A, desempeñando el cargo de Asistente de Investigación y Desarrollo. La carrera de Industrias Alimentarias permite el correcto desenvolvimiento dentro de la empresa, tanto en conocimientos como en competencias adquiridas.

En el área de investigación y desarrollo de productos de confitería se realizan actividades de búsqueda, selección, evaluación y aprobación de nuevos ingredientes, así como la

evaluación y optimización de procesos y parámetros de producción, para la obtención de formulaciones óptimas acorde a la legislación vigente del país. Adicional a ello, se realizan análisis de costos de formula, pruebas piloto e industriales y estudios de tiempo de vida útil, la cuales se pueden realizar de manera acelerada o en condiciones reales. Para el apropiado desempeño de estas funciones se pusieron en práctica los conocimientos adquiridos durante los años de estudio, tal como se muestra en la tabla 71.

Tabla 71: Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en el desempeño laboral

Cursos	Conocimientos adquiridos puestos en práctica
Tecnología de Alimentos I	Conservación y procesamiento de alimentos
Química de Alimentos	Composición de los alimentos (Ingredientes)
Análisis de Alimentos	Metodologías de análisis de alimentos
Transferencia de calor y masa	Balance de masa y energía
Envases y Embalajes de Alimentos	Envase y vida en anaquel de alimentos

Asimismo, en el presente Trabajo de Suficiencia Profesional para la reformulación de caramelos duros y la determinación de su vida útil, se puso en práctica los conocimientos específicos de composición de los alimentos, específicamente la funcionalidad de los ingredientes utilizados, metodologías de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, barreras de protección de los diferentes tipos de envase, evaluación y muestreo de producto, pruebas aceleradas para la determinación de la vida útil, así como el cumplimiento normativo relacionado al producto. Estos conocimientos guardan relación con las asignaturas mostradas en la tabla 72.

Tabla 72: Cursos y conocimientos adquiridos y aplicados en la reformulación de caramelos depositados y la determinación de su vida útil

Cursos	Conocimientos adquiridos puestos en práctica
Química de Alimentos	Composición química y funcionalidad de los insumos utilizados

<<Continuación>>

Análisis de Alimentos	Concentraciones de los insumos utilizados y metodologías de análisis fisicoquímicos
Transferencia de calor y masa	Balance de masa para la formulación
Envases y Embalajes de Alimentos	Envase con mejor barrera de protección y vida útil
Control de Calidad	Inspección y muestreo
Gestión de la Calidad de Alimentos	Normas alimentarias nacionales e internacionales

Sumado a los conocimientos técnicos, se aplicaron las habilidades adquiridas como el trabajo en equipo, siendo que el presente trabajo se desarrolló en un equipo multifuncional conformado por diferentes áreas de la empresa (Calidad, Producción, Investigación y Desarrollo y Marketing), liderazgo y comunicación asertiva con los proveedores de insumos, personal de planta, almacén y ventas de los diferentes lugares donde se desarrolló el proyecto. Así como, responsabilidad y eficiencia para la presentación y redacción apropiada de los resultados obtenidos.

Estas habilidades permitieron un correcto desarrollo y desenvolvimiento laboral, así como, una ejecución exitosa de las funciones acorde al cargo que se desempeñó.

V. CONCLUSIONES

1. De la caracterización de la materia prima e insumos utilizados en la elaboración de caramelos depositados se definió que los ingredientes críticos en la formulación son: el jarabe de glucosa y el ácido cítrico; pudiendo reemplazarse por insumos que contribuyen a extender la duración del producto en el almacenamiento.
2. Se identificó que uno de los principales defectos en el almacenamiento de los caramelos depositados es la pegajosidad y adhesión al empaque provocada principalmente por el uso de materias primas e insumos inadecuados en conjunto con la variación de la temperatura de cocción en proceso de elaboración.
3. De los prototipos evaluados para reformulación del producto (caramelo depositado) en los dos primeros ensayos realizados, se definió la formulación adecuada para este producto con una relación de azúcar: glucosa de 53:47, el uso de jarabe de glucosa con DE entre 30 – 34 y el reemplazo de ácido cítrico por ácido láctico tamponado en una dosis de 0.6%.
4. En el tercer ensayo, se logró definir que el uso de una nueva estructura: BOPP Cristal 20/ BOPP Metal 15 para el envase de caramelos depositados, ayuda a mejorar en 12% la vida útil del producto determinada en los ensayos 1 y 2.
5. Mediante pruebas aceleradas se determinó para la nueva formulación, con el envase de BOPP Cristal 20 micras/ BOPP Metal 15 micras, un tiempo de vida útil de 18

meses en condiciones ambientales a 20°C, lo cual representa un incremento del 50% de la vida útil del producto estándar.

6. Adicional a ello, como se observó en las pruebas de campo en condiciones extremas reales que el producto mantiene su calidad hasta los 12 meses de vida útil en climas calurosos y húmedos, como los que se presentan en las provincias de Piura e Iquitos, lo cual redujo el porcentaje de reclamos.
7. El índice de falla predominante en el caramelo duro está relacionado al parámetro de azúcares reductores, es el inicio de la pegajosidad o adherencia al empaque, lo cual ocasiona pérdida de forma en el producto, y ocurre cuando el producto llega a un contenido de azúcares reductores mayor a 20%. Asimismo, se observa que siguen un modelo cinético de primer orden.
8. En las pruebas aceleradas y de campo se observó el inicio del defecto (pegajosidad y pérdida de forma) a un contenido de azúcares reductores mayor a 20% y humedad mayor a 2%.
9. El tiempo de vida útil comercial del caramelo duro reformulado almacenado en condiciones ambientales, a una temperatura de 20°C y humedad relativa menor a 70%, es de 18 meses, tal como se detalló en el registro sanitario del producto G6500619N NKCNDL.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la evaluación de campo de la nueva formulación durante 18 meses, para comprobar el tiempo de vida útil del producto definido en las pruebas aceleradas.
- Se recomienda realizar un análisis estadístico para el tratamiento de los datos obtenidos por cada prototipo y tratamiento, con la finalidad de tener una mayor confiabilidad de los resultados finales.
- En las evaluaciones de proceso se observó que existe una relación directa entre la temperatura de cocción y el porcentaje de producto defectuoso encontrado, por lo que se recomienda reducir la temperatura de cocción para poder tener correcto control de la calidad final del producto.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- 208.001, N. (1982 (Revisado 2011)). CARAMELOS, CONFITES Y SIMILARES. Definiciones, clasificaciones y requisitos. Perú: INACAL.
- 208.101, N. (2014 (Revisada el 2019)). CONFITERÍA. Caramelos duros. Requisitos. Perú: INACAL.
- Bond, M., & Prange, T. (2012). *Depositing – The Future of Hard Candy*. Recuperado de www.bakerperkinsgroup.com: <https://www.bakerperkins-flip-page.com/PDF/WPFHC/index.html>
- Bouillé, A., & Beeren, C. (2016). Sensory Evaluation Methods for Food and Beverage Shelf Life Assessment. En A. Bouillé, & C. Beeren, *The Stability and Shelf Life of Food (Second Edition)*. Woodhead Publishing Series. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00007-1>
- Calligaris, S., Manzocco, L., & Anese, M. (2019). Accelerated shelf life testing. En C. M. Galanakis, *Food Quality and Shelf Life* (págs. 359 - 352). Vienna, Austria: Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817190-5.00012-4>
- Campo, Y., Gélvez Ordoñez, V. M., & Restrepo, J. L. (2018). Elaboración y estandarización de un confite (caramelo duro) a base de panela. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 74 - 79. doi:<http://dx.doi.org/10.23850/24220582.1414>
- Carrillo, M. L., & Reyes, A. (2013). Vida útil de los alimentos. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5063620>
- Edwards, W. P. (2002). *La ciencia de las golosinas*. Zaragoza: Editorial Acribia.

- Encalada, W. (2011). Diseño de planta para la elaboración de caramelos a base de Tamarindo (Tamarindus Indica I.) con Ají (Capsicum Annum) en la Ciudad de Quito. *Trabajo de Titulación para optar el título de Ingeniero Agroindustrial y de Alimentos*, 136 p. Recuperado de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/748>
- Ergun, R., Lietha, R., & Hartel, R. W. (2010). Moisture and shelf life in sugar confections. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 162 - 192. doi:<https://doi.org/10.1080/10408390802248833>
- FILMS, O. (s.f.). Especificación técnica de estructura BOPP.
- Gaitan, A., & Vassia, A. (2015). Desarrollo de caramelos duros expectorantes, antisépticos y analgésicos a base de plantas medicinales. *Tesis para la obtención del título de grado de Farmacéutico*. Recuperada de http://pa.bibdigital.uccor.edu.ar/666/1/TF_Gaitan_Vassia.pdf
- Malagón, D. (2007). Estandarización y validación de formulaciones base para confitería en caramelo duro y blando para la aplicación de agentes saborizantes en Disaromas S.A. *Trabajo de Grado modalidad practica empresarial como requisito para optar el titulo de Ingeniero de Alimentos*, 131 P. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/17/
- Martinez, M. J. (2016). Evaluación de calidad para dulces duros en Compañía de productos industrializados S.A. *Tesis para optar el título de Ingeniera Química*. Recuperada de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/4636>
- Meiners, A., Kreiten, K., & Joike, H. (1984). *El Nuevo Manual para la Industria de Confitería* (Vol. Tomo 2). Alemania Occidental, Alemania: Silesia-Essenzenfabrik Gerhard Hanke K.G.
- Moschopoulou, Moatsou, G., Syrokou, M., Paramithiotis, S., & Drosinos, E. (2019). *Food quality changes during shelf life*. Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817190-5.00001-X>
- Nowakowski, C. M., & Hartel, R. W. (2002). Moisture sorption of amorphous sugar products. *Journal of Food Science*, 1419-1425. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10300.x>

- Nuñez, M., Hernández , R., Rodríguez, I., Rodríguez, J., & Torres, Y. (2018). Metodología para la estimación de la vida útil de los alimentos. II. Métodos de estimación. *Food Science and Technology*, 75-82. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/322701856>
- PERU, I. (s.f.). Especificación técnica de Jarabe de Glucosa.
- Rodriguez, E., & Bastidas, P. (2009). Evaluación del proceso de cocción para obtener un confite duro a partir de pulpa de araza (*Eugenia stipitata*). *REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN VOL. 29 No. 2*, 35-41. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/29156>
- Spanemberg, F., Korzenowski, A., & Sellitto, M. (2014). Effects of sugar composition on shelf life of hard candy: Optimization study using D - optimal mixture design of experiments. *Journal of Food Process Engineering*. doi:10.1111/jfpe.13213
- Subramaniam. (2016). *The Stability and Shelf Life of Confectionery Products*. Woodhead Publishing Series . doi:<https://doi.org/10.1016/C2015-0-06842-3>
- Tan, J., & Kerr, W. L. (2017). Determination of glass transitions in boiled candies by capacitance based thermal analysis (CTA) and genetic algorithm (GA). *Journal of Food Engineering*, 68-75. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.08.010>
- Yañez, A., & Jiménez , M. (2016). Manual de buenas prácticas de manufactura y control estadístico del peso de caramelos duros en la empresa Ez Business S.R.L. *Trabajo de titulación para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias* , 19 - 39 .
- Zhang, W., Luo, Z., Wang, A., Gu, X., & Lv, Z. (2021). Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits. *Food Science and Technology*, 138. doi:doi:10.1016/j.lwt.2020.110610

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Tabla de interpretación estadística de los datos obtenidos de la evaluación sensorial

Tabla 2 Tabla de interpretación estadística de las pruebas dúo-trío y triangular para niveles de significancia del 5%, 1% y 0,1% (según Roessler y otros 1948).

Cantidad de jueces	Cantidad de respuestas correctas para que la prueba sea significativa					
	DÚO-TRÍO			TRIANGULAR		
	5%	1%	0,1%	5%	1%	0,1%*
5	-	-	-	4	5	-
6	-	-	-	5	6	-
7	7	7	-	5	6	7
8	7	8	-	6	7	8
9	8	9	-	6	7	8
10	9	10	10	7	8	9
11	9	10	11	7	8	10
12	10	11	12	8	9	10
13	10	12	13	8	9	11
14	11	12	13	9	10	11
15	12	13	14	9	10	12
16	12	14	15	9	11	12
17	13	14	16	10	11	13
18	13	15	16	10	12	13
19	14	15	17	11	12	14
20	15	16	18	11	13	14

FUENTE: Roessler, *et al.*, (1948)

Anexo 2: Modelo de Layout de una línea de fabricación para caramelos depositados



Figura 1. Línea de fabricación de caramelos depositado – Baker Perkins

FUENTE: <https://www.bakerperkins.com>