

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“VIDA ÚTIL SENSORIAL DE ENCURTIDOS DE AJÍ CHARAPITA  
(*Capsicum chinense*) MEDIANTE ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA  
CON PRUEBAS ACELERADAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**HENRY JOEL GONZALES RIVERA**

**LIMA - PERÚ**

**2024**

# VIDA ÚTIL SENSORIAL DE ENCURTIDOS DE AJÍ CHARAPITA (Capsicum chinense) MEDIANTE ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA CON PRUEBAS ACELERADAS

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>17%</b>	<b>17%</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	14/12/2023
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE	

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>dspace.unitru.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>www.amestad.mx</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>www.lamolina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>qdoc.tips</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>es.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>dicea.chapingo.mx</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**“VIDA ÚTIL SENSORIAL DE ENCURTIDOS DE AJÍ CHARAPITA  
(*Capsicum chinense*) MEDIANTE ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA  
CON PRUEBAS ACELERADAS”**

Presentado por:

HENRY JOEL GONZALES RIVERA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

---

Dr. Marcial I. Silva Jaimes  
PRESIDENTE

---

Luis F. Vargas Delgado, PhD.  
MIEMBRO

---

Mg.Sc. Diana M. Nolazco Cama  
MIEMBRO

---

Dr. Eduardo R. Morales Soriano  
ASESOR

---

M.Sc. Walter F. Salas Valerio  
CO-ASESOR

LIMA-PERÚ

2024

## DEDICATORIA

*A Dios por guiarme siempre por el camino de la paz y la rectitud, por mantenerme con calma y sabiduría hasta en los peores momentos para seguir logrando objetivos y por darme las fuerzas necesarias para superar cualquier obstáculo en mi vida.*

*A mis padres Enrique Gonzales Bazán y Mercedes Rivera Mandufano por su inquebrantable esfuerzo para darme un futuro mejor, en especial a mi madre por su apoyo incondicional, dedicación y consejos que me brinda siempre para ser mejor persona, mis logros son sus logros.*

*A mis hermanos John Gonzales Rivera y Jazmín Gonzales Rivera por ser el ejemplo y la motivación para seguir creciendo profesionalmente cada día.*

## AGRADECIMIENTOS

- A toda mi familia por su gran esfuerzo y apoyo que me brindaron todos los días para poder comenzar y terminar la tesis.
- A mi asesor Dr. Eduardo Morales Soriano y co-asesor M.Sc. Walter Salas Valerio por su gran experiencia en la investigación, amistad, enseñanzas, consejos, disposición y dedicación constante para desarrollar la parte experimental, y supervisar la redacción en cada etapa de mi tesis.
- Al Ing. Miguel Varas y al Ing. Alejandro Roncal Saito por su ayuda con el entendimiento y procesamiento de los datos del análisis de supervivencia en el programa estadístico R.
- A todos mis amigos del laboratorio de investigación de la Facultad de Industrias Alimentarias, Daniel Ishara, Leslie Mendoza, Jersy Asto, Gabriela Huaman, con quienes compartí gratos momentos en el desarrollo de la tesis, en especial a Lucero Villalobos y Jean Ramírez por sus consejos y ayuda con la disposición de los equipos.
- A mi amiga Ericka Sullca Pozo por su apoyo constante, sus buenos deseos en todo momento y su gran ayuda en realizar la evaluación sensorial, gracias por su amistad sincera. Así mismo, a todos los estudiantes, técnicos de laboratorio, trabajadores y profesores de la universidad que participaron en la evaluación sensorial.
- Agradecimiento al proyecto “Circulando en la Amazonía: desarrollo de biocomercio en cadenas de valor de frutos amazónicos de pequeños productores y empresarios del corredor económico Ucayali y San Martín”, realizado en coordinación con la Asociación Italiana sin fines de lucro “Terra Nuova” con el financiamiento de La Unión Europea, quienes apoyan a los pequeños agricultores y microempresarios con el fin de lograr el desarrollo económico local y la generación de cadena de valor productiva basadas en la agrobiodiversidad y fortalecimiento de los mercados locales.

# ÍNDICE GENERAL

## RESUMEN

## ABSTRACT

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1. GÉNERO <i>Capsicum</i> .....	3
2.1.1. ORIGEN Y DISPERSIÓN .....	3
2.1.2. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA .....	4
2.2. AJÍ CHARAPITA ( <i>Capsicum chinense</i> ) .....	5
2.2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	5
2.2.2. ASPECTOS ECOLÓGICOS .....	7
2.2.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA .....	8
2.3. OLEORRESINAS.....	9
2.4. CAROTENOIDES .....	9
2.4.1. IMPORTANCIA DE LOS CAROTENOIDES .....	11
2.4.2. ESTABILIDAD DE CAROTENOIDES .....	12
2.4.3. EFECTO DE LA TEMPERATURA .....	12
2.4.4. EFECTO DEL pH.....	13
2.4.5. EFECTO DE LA LUZ.....	13
2.4.6. EFECTO DE LA OXIDACIÓN .....	14
2.4.7. EFECTO DEL ALMACENAMIENTO .....	14
2.5. CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE ALIMENTOS .....	14
2.6. ENCURTIDOS .....	15
2.6.1. ENCURTIDOS DE AJÍ CHARAPITA .....	15
2.6.2. INSUMOS .....	16

2.7. IMPORTANCIA DE LOS ENVASES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA .....	17
2.7.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS USADOS COMO EMPAQUES .....	18
2.7.2. ENVASES DE POLIETILENO .....	18
2.7.3. ENVASES DOYPACK <i>STAND UP</i> CON CIERRE ZIPPER .....	20
2.8. VIDA ÚTIL.....	21
2.9. ÍNDICES DE FALLA Y DETERIORO .....	22
2.10. EVALUACIÓN SENSORIAL.....	22
2.11. ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA .....	23
2.11.1. FENÓMENOS DE CENSURA.....	23
2.11.2. FUNCIÓN DE SUPERVIVENCIA O ACEPTACIÓN EN LA VIDA ÚTIL .....	25
2.11.3. FUNCIÓN DE FALLA O RECHAZO EN LA VIDA ÚTIL.....	26
2.11.4. MODELO PARA ESTIMAR LA FUNCIÓN DE RECHAZO.....	27
2.11.5. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	28
2.12. PRUEBAS ACELERADAS DE VIDA ÚTIL.....	30
2.12.1. ECUACIÓN DE ARRHENIUS Y FACTOR DE LA TEMPERATURA DE ACELERACIÓN .....	31
2.12.2. FUNCIÓN DE FALLA ACELERADA Y MODELO ARRHENIUS-WEIBULL..	33
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>36</b>
3.1. LUGAR DE ESTUDIO.....	36
3.2. MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y REACTIVOS .....	36
3.2.1. MATERIA PRIMA .....	36
3.2.2. INSUMOS .....	36
3.2.3. REACTIVOS Y SOLUCIONES .....	36
3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y PROGRAMAS.....	37
3.3.1. MATERIALES .....	37
3.3.2. EQUIPOS .....	37
3.3.3. PROGRAMAS .....	37

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	38
3.4.1. ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DE LOS ENCURTIDOS.....	38
3.4.2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LOS ENCURTIDOS .....	40
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	40
3.5.1. PROCESO DE ELABORACIÓN DE ENCURTIDO DE AJÍ CHARAPITA .....	40
3.5.2. PRUEBAS ACELERADAS DE LOS ENCURTIDOS.....	43
3.5.3. EVALUACIÓN SENSORIAL .....	45
3.5.4. CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA .....	46
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	46
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	48
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>49</b>
4.1. ELABORACIÓN DE LOS ENCURTIDOS .....	49
4.2. VIDA ÚTIL DE LOS ENCURTIDOS DE AJÍ CHARAPITA MEDIANTE ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA.....	50
4.2.1. EVALUACIÓN SENSORIAL EN BASE AL COLOR DEL AJÍ CHARAPITA ...	50
4.2.2. OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO DE WEIBULL .....	53
4.2.3. ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE LOS ENCURTIDOS EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA.....	57
4.3. VIDA ÚTIL A TEMPERATURA ARBITRARIA.....	59
4.3.1. PARÁMETROS DEL MODELO ARRHENIUS-WEIBULL .....	59
4.3.2. ENERGÍA DE ACTIVACIÓN DE LAS PRUEBA ACELERADAS .....	61
4.3.3. ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS ENCURTIDOS A 25°C .....	64
4.4. ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LOS ENCURTIDOS.....	65
4.4.1. ACIDEZ TITULABLE DEL LÍQUIDO DE GOBIERNO .....	65
4.4.2. pH DEL LÍQUIDO DE GOBIERNO .....	66
4.4.3. ÍNDICE DE COLOR DE LOS AJÍES CHARAPITA.....	67
4.4.4. RECUENTO DE LEVADURAS EN LOS ENCURTIDOS .....	68

<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>73</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios morfológicos de flores y frutos de las especies del género <i>Capsicum</i> .....	6
Tabla 2: Valor nutricional del ají charapita .....	9
Tabla 3: Diferencias entre el polietileno de baja con el de alta densidad.....	19
Tabla 4: Ejemplos de productos alimenticios y sus vida útiles típicas.....	21
Tabla 5: Unidades obtenidas en la elaboración de encurtidos de ají charapita .....	49
Tabla 6: Parámetros $\mu$ y $\sigma$ de la distribución de Weibull de cada temperatura de almacenamiento en los envases laminado y polietileno de baja densidad .....	53
Tabla 7: Parámetros $\beta$ y $\alpha$ para cada temperatura de almacenamiento de los encurtidos en envase laminado y polietileno de baja densidad .....	55
Tabla 8: Tiempo de vida útil (horas) del encurtido en envase laminado para diferentes porcentajes de rechazo en cada temperatura de almacenamiento.....	57
Tabla 9: Tiempo de vida útil (horas) del encurtido en envase de polietileno para diferentes porcentajes de rechazo en cada temperatura de almacenamiento.....	57
Tabla 10: Valores estimados de los parámetros del modelo de Arrhenius-Weibull para el envase laminado.....	60
Tabla 11: Valores estimados de los parámetros del modelo de Arrhenius-Weibull para el envase de polietileno de baja densidad.....	60
Tabla 12: Energía de activación en kJ/mol de las pruebas aceleradas .....	61
Tabla 13: Nivel de significancia ( $\alpha$ ) del estadístico de prueba “chi-cuadrado” (Q) y valor de verosimilitud del análisis de supervivencia para cada envase.....	62
Tabla 14: Tiempo de vida útil estimado (días) de los encurtidos de ají charapita a 25°C de almacenamiento en 10, 25 y 50 % de rechazo.....	64
Tabla 15: Acidez titulable del líquido de gobierno en el máximo tiempo de almacenamiento .....	65

Tabla 16: pH del líquido de gobierno en el máximo tiempo de almacenamiento .....	66
Tabla 17: Índice de color en el máximo tiempo de almacenamiento .....	67
Tabla 18: Recuento de levaduras en muestras de encurtido de ají charapita para cada envase y temperatura de almacenamiento .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ají charapita ( <i>Capsicum chinense</i> ) .....	7
Figura 2: Perfil sensorial de la aromaticidad del ají charapita .....	7
Figura 3: Regiones de cultivo de ají charapita .....	8
Figura 4: Esquema simplificado de la biosíntesis de carotenoides en plantas .....	10
Figura 5: Estructura química del $\beta$ -caroteno .....	11
Figura 6: Estructura química de la violaxantina .....	11
Figura 7: Beneficios de los carotenoides y su prevención de enfermedades.....	12
Figura 8: Conversión de carotenoides 5,6-epóxidos en 5,8-furanoides .....	13
Figura 9: Encurtido de ají charapita .....	16
Figura 10: Cambios en la interacción ambiente, empaque y alimento .....	17
Figura 11: Envase laminado Doypack.....	20
Figura 12: Censura por la derecha de un estudio.....	23
Figura 13: Censura por la izquierda de un estudio .....	24
Figura 14: Censura por intervalo de un estudio.....	24
Figura 15: Función de supervivencia o aceptación de los consumidores.....	25
Figura 16: Función de falla o rechazo de los consumidores.....	26
Figura 17: Curva típica de flujo de fallas o curva de la bañera .....	30
Figura 18: Diagrama de flujo de la elaboración de encurtidos de ají charapita en bolsas Doypack y polietileno de baja densidad .....	42
Figura 19: Ejemplo de diseño reverso escalonado para estimar la vida útil de encurtidos de ají charapita en envase laminado a 40°C .....	44
Figura 20: Estructura de la evaluación sensorial .....	45
Figura 21: Diseño experimental de la investigación de vida útil sensorial de los encurtidos de ají charapita .....	47

Figura 22: Respuestas de la evaluación sensorial para el envase laminado .....	50
Figura 23: Respuestas de la evaluación sensorial para el envase de polietileno de baja densidad.....	51
Figura 24: Probabilidad de rechazo del consumidor frente al tiempo de almacenamiento (h) para cada temperatura de trabajo en envase laminado.....	54
Figura 25: Probabilidad de rechazo del consumidor frente al tiempo de almacenamiento (h) para cada temperatura de trabajo en envase de polietileno de baja densidad .....	54

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica del envase de polietileno de baja densidad.....	85
ANEXO 2: Ficha técnica del envase laminado Doypack.....	86
ANEXO 3: Procedimiento experimental de la investigación .....	87
ANEXO 4: Hoja de evaluación sensorial .....	90
ANEXO 5: Interfaz del programa estadístico R.....	91
ANEXO 6: <i>Script</i> o código fuente del análisis de supervivencia.....	92
ANEXO 7: <i>Script</i> o código fuente del modelo arrhenius-weibull de la función de falla acelerada .....	94
ANEXO 8: Procedimiento para realizar los cálculos de estimación de vida útil sensorial con el programa estadístico R.....	95
ANEXO 9: Método para hallar la energía de activación y la prueba chi-cuadrado .....	104
ANEXO 10: Respuestas de la evaluación sensorial realizada a las muestras de encurtido de ají charapita del envase laminado a las temperaturas 28°C y 30°C.....	105
ANEXO 11: Respuestas de la evaluación sensorial realizada a las muestras de encurtido de ají charapita del envase laminado a las temperaturas 35°C y 40°C.....	108
ANEXO 12: Respuestas de la evaluación sensorial realizada a las muestras de encurtido de ají charapita del envase de polietileno a las temperaturas 28°C y 30°C.....	111
ANEXO 13: Respuestas de la evaluación sensorial realizada a las muestras de encurtido de ají charapita del envase de polietileno a las temperaturas 35°C y 40°C.....	114
ANEXO 14: Resultados de acidez titulable, pH e índice de color .....	117

## RESUMEN

Se realizó un estudio de vida útil de encurtidos de ají charapita (*Capsicum chinense*) en dos tipos de envase: laminado y polietileno de baja densidad, estos fueron evaluados mediante el método de análisis de supervivencia con pruebas aceleradas. El objetivo de la investigación fue encontrar la vida útil sensorial de los encurtidos a una temperatura de 25°C en cada envase. Los encurtidos se almacenaron a 28°C, 30°C, 35°C y 40°C con 80 % de humedad relativa (H.R) en distintos tiempos de almacenamiento y fueron evaluados sensorialmente por cien panelistas no entrenados. El color del ají fue el atributo de calidad escogido y el evento de interés fue el rechazo del consumidor cuando ocurrió un cambio perceptible de coloración en los ajíes. Se utilizó el programa estadístico R para la obtención de los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$  de la distribución de Weibull, y  $\beta_0$ ,  $\sigma$  y  $\beta_1$  del modelo Arrhenius-Weibull de la función de falla acelerada. Se obtuvo que la vida útil para un 50 % de probabilidad de rechazo en el envase laminado fue:  $581.49 \pm 65.30$ ,  $482.67 \pm 62.61$ ,  $358.40 \pm 51.59$  y  $233.18 \pm 43.82$  horas para 28°C, 30°C, 35°C y 40°C, respectivamente; así mismo, la vida útil para el envase de polietileno de baja densidad fueron:  $157.62 \pm 24.99$ ,  $121.46 \pm 19.62$ ,  $104.78 \pm 17.97$  y  $80.39 \pm 13.99$  horas para 28°C, 30°C, 35°C y 40°C, respectivamente. Finalmente, se estimó la vida útil de los encurtidos a 25°C con una probabilidad de rechazo del 50 %, obteniéndose  $30.83 \pm 4.68$  y  $7.31 \pm 1.29$  días, con energía de activación de  $58.95 \pm 12.3$  y  $40.35 \pm 13.84$  kJ/mol y niveles de significancia de la prueba chi-cuadrado de  $2.21e^{-12}$  y  $9.27e^{-06}$  para los envases laminado y polietileno de baja densidad, respectivamente.

**Palabras clave:** Ají charapita, supervivencia, pruebas aceleradas, vida útil, sensorial, color

## ABSTRACT

A charapita chili pepper (*Capsicum chinense*) pickles shelf life study was carried out in two types of packaging: laminated and low-density polyethylene, these were evaluated using the survival analysis method with accelerated tests. The research aim was to find the sensory shelf life of the pickles at a 25°C temperature in each container. The pickles were stored at 28°C, 30°C, 35°C and 40°C with 80 % relative humidity (R.H.) at different storage times and were sensory evaluated by one hundred untrained panelists. The chili pepper color was the quality attribute chosen and the event of interest was consumer rejection when a perceptible color change happened in the chili peppers. The R statistical program was used to obtain the mu ( $\mu$ ) and sigma ( $\sigma$ ) parameters of the Weibull distribution, and beta 0 ( $\beta_0$ ), sigma ( $\sigma$ ) and beta 1 ( $\beta_1$ ) of the Arrhenius-Weibull model of the accelerated failure function. It was obtained that the useful life for a 50 % probability of rejection in the laminated container was:  $581.49 \pm 65.30$ ,  $482.67 \pm 62.61$ ,  $358.40 \pm 51.59$  and  $233.18 \pm 43.82$  hours for 28°C, 30°C, 35°C and 40°C, respectively; Likewise, the useful life for the low-density polyethylene container were:  $157.62 \pm 24.99$ ,  $121.46 \pm 19.62$ ,  $104.78 \pm 17.97$  and  $80.39 \pm 13.99$  hours for 28°C, 30°C, 35°C and 40°C, respectively. Finally, the useful life of the pickles at 25°C was estimated with a probability of rejection of 50 %, getting  $30.83 \pm 4.68$  and  $7.31 \pm 1.29$  days, with activation energy of  $58.95 \pm 12.3$  and  $40.35 \pm 13.84$  kJ/mol and significance levels of the chi-square test of  $2.21e^{-12}$  and  $9.27e^{-06}$  for laminated and low-density polyethylene packaging, respectively.

**Key Words:** Charapita chili pepper, survival, accelerated tests, shelf life, sensory, color

## I. INTRODUCCIÓN

La vida útil de los alimentos es uno de los estudios más importantes que realizan las industrias alimentarias para conocer su tiempo de conservación en el mercado. En ese sentido, las empresas que elaboran conservas como los de encurtidos de ajíes nativos, realizan estos ensayos en base a los atributos de calidad del ají. Es por ello que, controlar la temperatura de almacenamiento, humedad, oxígeno del medio, exposición a la luz, tipo de envase y transporte mecánico es de suma importancia para alargar la vida útil del producto.

El ají charapita (*Capsicum chinense*) crece en la Amazonía Peruana y es muy utilizado en la gastronomía local por su singular aroma y sabor. La mayor producción se encuentra en la región de Ucayali, donde los productores agrícolas generan comercio y flujo económico con la exportación internacional y elaboración de productos (Cartay & Osorio, 2021).

Por otra parte, las industrias de envases y embalajes crecieron cerca del 7 % en el año 2020 a pesar de que en ese tiempo se agravó la crisis sanitaria debido al Covid-19, esto porque muchas empresas no dejaron de producir y garantizaron la seguridad del consumidor a través de protocolos (Portal Food Tech, 2022). Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020) la crisis económica fue menor en servicios indispensables como las industrias de alimentos. Sin embargo, el Gobierno Regional de Ucayali (2022) menciona que la producción y venta de pequeñas empresas como la Asociación de Productores Ecológicos “El Pimental” fue muy afectada por el estado de emergencia declarado por el gobierno del Perú.

Del mismo modo, el sector alimentario tuvo muchos retos durante la pandemia, entre ellos el de reactivación económica, el cual consistió en satisfacer una mayor demanda de alimentos a pesar de que hubo muchas restricciones en las importaciones, cierre de fronteras, disminución de personal y cambios en la preferencia de los consumidores. Para lograr esto se tuvo que optimizar la cadena de suministros, buscando el *packaging* perfecto y usando tecnologías como el *Blockchain*. Es por ello que se han estado realizando modificaciones,

sustituciones y mejoras en los envases para aumentar el tiempo de vida, teniendo en el cumplimiento de los estándares de calidad, rentabilidad económica, innovación, sostenibilidad y sustentabilidad ambiental (Montenegro, 2022). Los materiales de envase como la madera, el cartón y fibras orgánicas se siguen utilizando, pero el uso de los plásticos ha aumentado notoriamente en los últimos años, y con la ayuda de tecnologías emergente se están fabricando empaques menos dañinos con la capacidad de otorgarle sustancias al alimento que ayuden a alargar su vida útil (Pizarro, 2017). Además, en tiempo del Covid-19 fue mucho mayor la tendencia de proteger y preservar el alimento, es por ello que hubo mayor demanda en el consumo de productos con envases plásticos considerado como el mejor material de protección (Pizarro, 2020).

Existen diversos métodos para estimar la vida útil de un producto, muchos de estos se enfocan en los atributos esenciales, dando buenas predicciones de tiempos de conservación. Sin embargo, se sabe que el consumidor es el juez principal en el estudio de un alimento, por lo que es mejor elegir un método basado en la decisión de las personas, como es el análisis de supervivencia, si se quiere posicionar el producto en diferentes mercados. Así mismo, cuando se realiza trabajos de vida útil en ocasiones son muy tediosos por el largo tiempo que necesita el alimento para degradarse, esto demanda mucho tiempo y energía, es por ello que se debe optar por métodos rápidos como son las pruebas aceleradas.

Actualmente, existen escasas investigaciones sobre el uso del método de análisis de supervivencia con pruebas aceleradas en el sector alimentario, ya que es más utilizado en áreas de ingeniería mecánica, electrónica y medicina. Los pocos trabajos que se realizan son de alimentos que ya fueron estudiados como son el yogurt, queso, panes, galletas y salsas, por lo que generar investigación basado en nuevas fuentes de materias primas evitaría un vacío científico para futuros ensayos y otorgaría una mejor comprensión de la metodología.

Por lo tanto, esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar el tiempo de vida útil sensorial de encurtidos de ají charapita (*Capsicum chinense*) mediante análisis de supervivencia con pruebas aceleradas. Los objetivos específicos fueron elaborar encurtidos de ají charapita por método directo con adición de vinagre y sal, y estimar la vida útil sensorial de los encurtidos de ají charapita en los envases laminado (HDPE/PET) y polietileno de baja densidad (LDPE) a temperatura de 25°C.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. GÉNERO *Capsicum*

La Sociedad Peruana de Gastronomía (APEGA, 2009) menciona que los ajíes se encuentran en el género *Capsicum*, y son aproximadamente 25 especies de las cuales 5 de ellas han sido domesticadas desde antiguas civilizaciones que tuvieron lugar en América del Norte, del Centro y del Sur; además, indican que las diferencias más resaltantes se encuentran en la forma, color, tamaño y estructura de las flores.

Las cinco especies con mayor predominancia en el Perú son: *Capsicum annum*, *Capsicum baccatum*, *Capsicum pubescens*, *Capsicum chinense* y *Capsicum frutescens*, los cuales se encuentran mayormente en los mercados, que provienen de campos de productores agrícolas o de huertos caseros. Cada especie de ají posee un nombre común y estas varían dependiendo de las regiones en que se encuentran, los cuales pueden ir modificándose o perdiéndose a través del tiempo (APEGA, 2009).

#### 2.1.1. ORIGEN Y DISPERSIÓN

El género *Capsicum* pertenece a la familia de las *Solanaceae*, es el género donde es conocido por el picor y variedad de colores en sus especies. Es probable que se iniciara en los Andes, en la región de área común entre Perú y Bolivia, para luego dispersarse por las regiones de menores alturas así como en climas subtropicales y tropicales (Bosland & Votava, 2012).

Yang et al. (2017) mencionan que los ajíes aparecieron por primera vez hace 19.6 millones de años y que la propagación de las semillas no pudieron ser fácilmente esparcidos por el mundo simplemente por el viento o los animales, a menos que fueran a través de las aves que tienen la capacidad de volar grandes distancias entre continentes. En las investigaciones de Tewksbury & Nabhan (2001) encontraron semillas de ají en los desechos de las aves que

habían volado grandes distancias, es por ello que llegaron a la conclusión que los pájaros son los principales responsables de esparcir las semillas. Esta afirmación fue válida cuando descubrieron que las aves no tienen un estímulo receptor vaniloide (TRPV1) que recibe la capsaicina, sustancia picante que se encuentra en los ajíes, por lo que quiere decir que estos animales no sienten el picor. En la historia, muchos ajíes fueron utilizados como alimento y condimento de las antiguas culturas y civilizaciones de Sudamérica. También, formó parte del imperio inca y muchas veces tomaba protagonismo en las ceremonias religiosas como ofrenda sagrada a los dioses. El ají se fue diversificando mucho más con la travesía de Colón en su retorno a Europa en 1493 mediante los viajes mercantiles marítimos, así como en las meriendas del siglo XVII entre españoles e indios, el cual fue introducido como intercambio gastronómico que favoreció tanto a occidente como al Perú (Castillo, 2019).

### **2.1.2. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA**

El género *Capsicum* es un género de plantas herbáceas o arbustivas y de ciclo anual o estable perteneciente a la familia de las *Solanaceae*. Estos presentan tallos ramificados, leñosos o semileñosos. Las hojas son simples, lanceoladas u ovales, lisas y con un grado de brillantez de color verde, pueden llegar a crecer hasta 150 cm de alto o más. Las flores pueden presentarse en diferentes colores como blanco, amarillo o violáceo los cuales se disponen en inflorescencias axilares, el fruto es una baya pulposa de color, tamaño y forma variable que es de interés comercial y económico (Vázquez, 2020).

La diversidad de ajíes es tan grande que no se conoce todas las variedades que existe en cada región del país. Es importante realizar un estudio de identificación general de todas las especies con el fin de conocer si existe germoplasmas o genomas duplicados, si para una misma variedad toma distintos nombres o si un mismo nombre común es utilizado para describir dos variedades genéticamente diferentes. Es por ello que, en un trabajo conjunto de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) con el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) e instituciones regionales realizan estudios detallados en la identificación taxonómica de muchas especies de ajíes, pero aún falta identificar más especies dentro del mapa regional con un trabajo sistemático y coordinado (APEGA, 2009).

Sin embargo, basados en sus características morfológicas, Bosland & Votava (2012) reconocen 38 especies y proponen la clasificación taxonómica del género como sigue:

Reino : *Plantae*  
División : *Magnoliophyta*  
Clase : *Magnoliopsida*  
Orden : *Solanales*  
Familia : *Solanaceae*  
Subfamilia : *Solanoidea*  
Género : *Capsicum*  
Especies : *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens*, *C. pubescens*  
domesticadas

En la Tabla 1 se muestra la clasificación de las flores y frutos por Nuez et al. (1996) de acuerdo a criterios morfológicos diferenciados de las especies domesticadas.

## **2.2. AJÍ CHARAPITA (*Capsicum chinense*)**

### **2.2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES**

El ají charapita es una especie que proviene de América, aunque no se conoce exactamente de qué parte se originó. Es una planta que alcanza un metro de alto y sus hojas pueden ser de forma aguda, elíptica o en punta. El color de sus flores es blanco o amarillo. El fruto es una baya redonda, por lo general lisa y de color amarillo o naranja (García et al., 2010).

El ají charapita presenta un aroma particular a duraznos maduros, fresas, hierbas trituradas y césped recién cortado, con algunos rasgos de madera y trementina. También, existe diferencia en la aromaticidad y la forma del fruto entre regiones (Presilla, 2017).

**Tabla 1: Criterios morfológicos de flores y frutos de las especies del género *Capsicum***

<b>Categoría</b>	<b><i>C. annuum</i></b>	<b><i>C. baccatum</i></b>	<b><i>C. chinense</i></b>	<b><i>C. frutescens</i></b>	<b><i>C. pubescens</i></b>
<b>Flores</b>	Solitarias, a veces fasciculadas	Solitarias	Dos o más por nudo	Solitarias, a veces fasciculadas	Solitarias
<b>Pedicelo</b>	Declinado	Erguido o declinado	Erguido o declinado	Erguido	Erguido
<b>Corola</b>	Blanco-lechosa, a veces morada	Blanca o blanco verdosa con manchas amarillas en la base	Blanco verdosa, a veces morada blanca o morada	Blanco-verdosa	Morada
<b>Constricción en el cáliz</b>	Ausente	Ausente	Presente	Ausente	Ausente
<b>Cáliz dentado</b>	Presente	Presente	Ausente	Ausente	Presente
<b>Pericarpio</b>	Firme	Firme	Firme	Blando	Firme
<b>Semilla</b>	Amarilla, lisa	Amarilla, lisa	Amarilla, lisa	Amarilla, Lisa	Oscura, rugosa

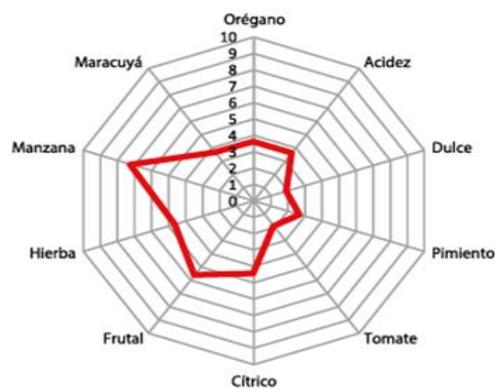
FUENTE: Nuez et al. (1996)

En la Figura 1 se muestra el fruto de ají charapita (*Capsicum chinense*) en su forma natural.



**Figura 1: Ají charapita (*Capsicum chinense*)**

En la Figura 2 se muestra el perfil sensorial en escala de la aromaticidad del ají charapita:



**Figura 2: Perfil sensorial de la aromaticidad del ají charapita**

FUENTE: Rojas et al. (2016)

### 2.2.2. ASPECTOS ECOLÓGICOS

El ají charapita crece en la Amazonía Peruana donde es consumido por su población y es famoso por el aporte en la comida selvática ya que es un ají muy picante y aromático. Las regiones de mayor producción y consumo son Loreto, San Martín y Ucayali. En esta última, los productores comercializan el ají de forma más avanzada incorporándolos en los mercados de la capital. También, es el primer ají nativo que se exporta a mercados internacionales, el cual tiene una gran aceptación por parte de los consumidores (Cartay & Osorio, 2021).

Las plantas de esta especie crecen en climas templados y cálidos, pueden soportar condiciones de falta de agua y alta nubosidad, las condiciones óptimas para su desarrollo es a una temperatura que oscila entre 18 a 24°C y humedad relativa entre 70 y 90 % (Mendez et al., 2004). El cultivo se siembra hasta 3000 m.s.n.m, es recomendable suelos livianos poco arcillosos con buena capacidad de filtro de agua y enriquecida con nutrientes orgánicos, es por ello que los productores de ají en la región de Ucayali buscan sembrar en pendientes leves para evitar el cumulo de agua y así evitar enfermedades y plagas (Riva, 2019).

La Figura 3 muestra las regiones principales donde se produce ají charapita de diferentes variedades reportadas por la Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo (PROMPERÚ):



**Figura 3: Regiones de cultivo de ají charapita**

FUENTE: PROMPERÚ (2016)

### 2.2.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Los ajíes como cualquier otro fruto contienen diferentes compuestos químicos tales como: agua, grasas, compuestos volátiles, resinas, carotenoides, proteínas, fibras, minerales y otros componentes (Bosland & Votava, 2012).

A continuación se presenta la composición química nutricional del ají charapita analizado en base seca (%) analizado por Rojas et al. (2016):

**Tabla 2: Valor nutricional del ají charapita**

<b>Compuesto químico</b>	<b>Concentración</b>
Humedad	78.1 %
Proteínas	15.9 %
Grasa	5.9 %
Carbohidratos	45.0 %
Fibra	27.8 %
Ceniza	5.4 %
Capsaicinoides	338.6 µg/g
Carotenoides totales	98.7 mg β caroteno/100g

FUENTE: Rojas et al. (2016)

### **2.3. OLEORRESINAS**

Las oleorresinas son sustancias de naturaleza oleosa, obtenidos de especias o de aquellas plantas que se otorgan cualidades como color, sabor y pungencia. Esta sustancia es utilizada en la industria como ingrediente que otorga sabor y aroma en los productos. Las oleorresinas del género *Capsicum* se componen por diversos carotenoides con propiedades pungentes (picantes) y colorantes (Gallego, 2007).

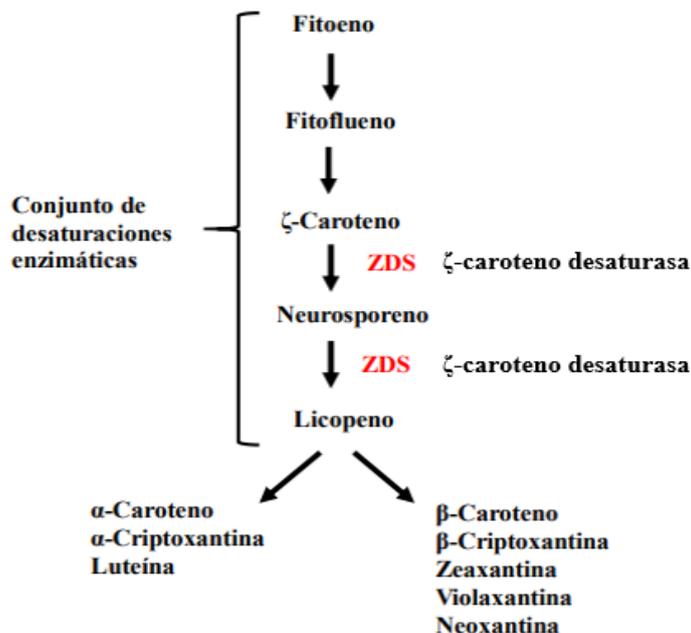
Fernández-Ronco et al. (2013) mencionan que las oleorresinas del ají están compuestas de lípidos como ácidos grasos y triglicéridos, además de pigmentos como capsaicinoides y carotenoides y otras sustancias en menores concentraciones.

### **2.4. CAROTENOIDES**

Los carotenoides son tetraterpenoides, compuestos en su estructura de 40 átomos de carbono formados por 8 unidades isopropanoides, aunque con excepciones (Meléndez-Martínez, 2017). Los carotenoides son pigmentos naturales que se encargan de dar coloración en alimentos vegetales y animales, alguno de estos son responsables de colores como el

amarillo, anaranjado o rojo en vegetales o anaranjado en productos de origen animal, también se han encontrado en algunos peces, crustáceos, insectos y pájaros. Son aproximadamente 600 compuestos de esta familia que se dividen en dos: carotenos que poseen cadenas de hidrocarburos y las xantófilas que poseen oxígeno en su composición.

En la Figura 4 se muestra la ruta biosintética de los carotenoides en las plantas:



**Figura 4: Esquema simplificado de la biosíntesis de carotenoides en plantas**

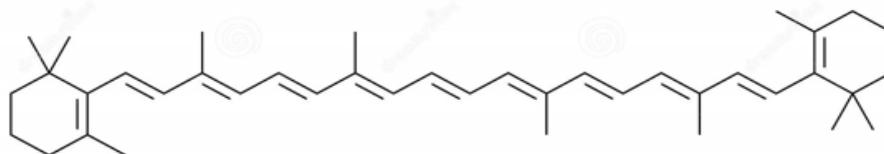
FUENTE: Mapelli (2018)

Los carotenoides son sustancias hidrofóbicas, lipofílicas y generalmente son insolubles en agua, significa que se disuelven bien en solventes grasos como acetona, alcohol, éter etílico, tetrahidrofurano y cloroformo. Los carotenos son fácilmente disueltos en éter de petróleo y hexano, mientras que las xantófilas se disuelven en metanol (Rodríguez-Amaya, 1999).

Los carotenoides tienen en su estructura un sistema largo de dobles enlaces conjugados, es decir, carbono-carbono simple y doble llamado cadena poliénica. Esta parte es conocida como cromóforo y es la responsable de la absorción de luz de la región visible por lo que otorga gran capacidad de pigmentación, para un color amarillo suave es necesario al menos siete enlaces dobles conjugados. La intensidad de los colores de los alimentos depende de qué tipo de carotenoide se encuentra en su matriz, la concentración del mismo y el estado físico del alimento. Aproximadamente 50 carotenoides de los más de 600 son antagonistas

de la vitamina A, siendo el  $\beta$ -caroteno la provitamina A más importante en actividad biológica (Rodríguez-Amaya, 1999).

La Figura 5 muestra la estructura química del  $\beta$ -caroteno:

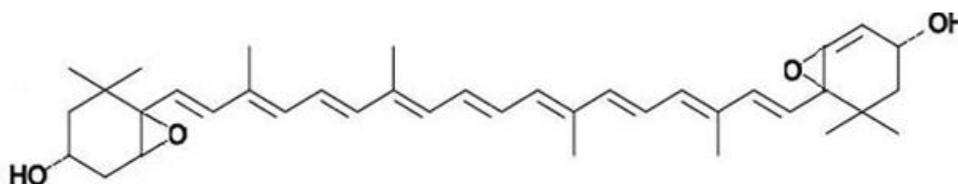


**Figura 5: Estructura química del  $\beta$ -caroteno**

FUENTE: Meléndez-Martínez et al. (2004)

Muchos carotenoides se modifican por diversos factores que alteran su estructura, tal como es el caso de la violaxantina que es un pigmento fotosintético amarillo de grupo epóxido muy común en alimentos de colores anaranjados, isomerizándose cuando se encuentra en medios ácidos.

La Figura 6 muestra la estructura química de la violaxantina:



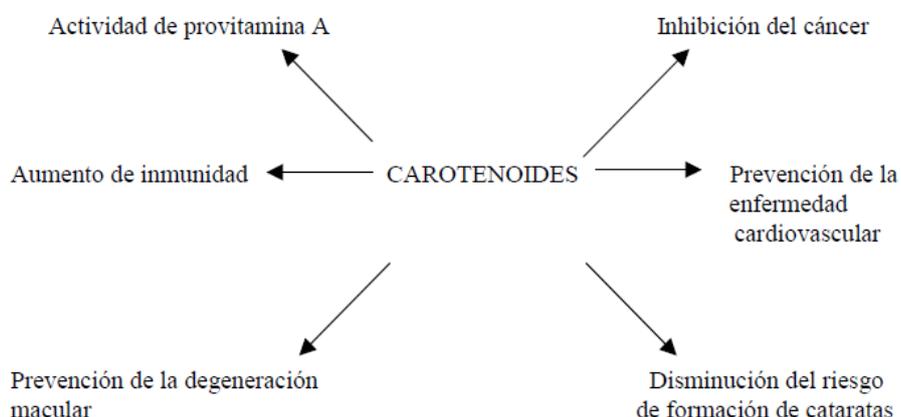
**Figura 6: Estructura química de la violaxantina**

FUENTE: Meléndez-Martínez (2017)

#### **2.4.1. IMPORTANCIA DE LOS CAROTENOIDES**

Los carotenoides poseen actividad antioxidante, propiedad que es valorada desde el punto de vista nutricional, considerado como la capacidad que disminuye notablemente los efectos nocivos del oxígeno y nitrógeno (Food and Nutrition Board, 2000). Los carotenoides aumentan las defensas del sistema inmunológico y disminuyen el riesgo de padecer enfermedades degenerativas como cáncer, enfermedades cardiovasculares, envejecimiento

o enfermedades visuales, además que son llamados antioxidantes por desactivar radicales libres (Krinsky, 1994). En la Figura 7 se detalla los beneficios de los carotenoides en la salud de las personas:



**Figura 7: Beneficios de los carotenoides y su prevención de enfermedades**

FUENTE: Rodríguez-Amaya (1999)

#### **2.4.2. ESTABILIDAD DE CAROTENOIDES**

Los carotenoides son estables a condiciones normales pero cuando el alimento se calienta o son extraídos en aceites o disolvente orgánicos se vuelven más inestables. Es por ello que, el escaldado industrial puede producir pérdidas de carotenoides, aunque esta operación se realiza con fines de inactivación enzimática para evitar pérdidas posteriores durante procesos posteriores o de almacenamiento. En cambio, la congelación, la adición de antioxidantes y la ausencia de oxígeno en los envases disminuye las pérdidas durante el procesado o almacenamiento (Rodríguez-Amaya, 1999).

#### **2.4.3. EFECTO DE LA TEMPERATURA**

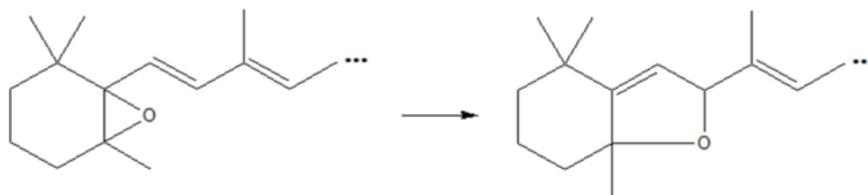
La temperatura es un factor que actúa en la aceleración de reacciones de degradación en sustancias anhidras e hidratas. El tratamiento térmico produce cambio en la isomerización de los dobles enlaces en la cual los carotenos que son isómeros *trans* varían parcialmente a isómeros *cis*, todo esto ocurre en un medio sin oxígeno. Esta reacción puede ocurrir en operaciones tales como esterilización de productos que conlleva a una pérdida del complejo

vitamínico. Estudios revelan que el  $\beta$ -caroteno y el licopeno siguen una cinética de primer orden en la degradación por calentamiento, un ejemplo de ello es el impacto que genera un escaldado de zanahorias, operación que se hace con el fin de inactivar lipoxigenasa, genera retención y pérdida de carotenoides (Meléndez-Martínez et al., 2004).

#### 2.4.4. EFECTO DEL pH

Los ácidos y álcalis pueden ocasionar isomerizaciones *cis/trans* de dobles enlaces, reagrupamientos y desesterificaciones, por lo que se debe tener en cuenta cuando son analizados en laboratorio. Por ejemplo, las xantófilas como fucoxantina y astaxantina son lábiles en medio alcalino y los epoxicarotenoides son muy inestables en medio ácido, lo cual estos últimos tienen importancia en la elaboración de zumos y vegetales fermentados donde el medio ácido promueve la conversión espontánea de los grupos 5,6-epóxidos a 5,8-furanoides. También, este proceso se ha estudiado en el proceso fermentativo de las aceitunas (Meléndez-Martínez et al., 2004).

La Figura 8 muestra la transformación de la estructura química de los carotenoides por inestabilidad en medio ácido:



**Figura 8: Conversión de carotenoides 5,6-epóxidos en 5,8-furanoides**

FUENTE: Meléndez-Martínez (2017)

#### 2.4.5. EFECTO DE LA LUZ

Los carotenos son muy susceptibles al cambio de color y a la formación de compuestos de bajo peso molecular cuando sufren ruptura por exposición a la luz. Estas reacciones producen pérdida de la funcionalidad de la provitamina A y el color característico. Existe una relación entre la degradación de pigmentos, la acción de la luz y la presencia de ácidos grasos insaturados, donde este último otorga una capacidad de protección del pigmento.

Existen estudios que demuestran que el  $\beta$ -caroteno cuando es expuesto a luz fluorescente sufre una cinética de degradación de primer orden, favoreciendo la transformación a compuestos como el 13,15-di-cis- $\beta$ -caroteno (Meléndez-Martínez et al., 2004).

#### **2.4.6. EFECTO DE LA OXIDACIÓN**

La oxidación de los carotenoides es la principal causa de su degradación, ya sean por reacciones enzimáticas o no enzimáticas. En el procesamiento de los alimentos, la oxidación es un mecanismo que se puede presentar en diversas etapas y depende de muchos factores. Los pigmentos pueden oxidarse por sí mismos en presencia de oxígeno atmosférico a velocidades que están sujetas por la luz, el calor y la presencia de pro y antioxidantes. Así mismo, en el proceso de oxidación de los carotenoides se pueden desarrollar reacciones de epoxidación, formación de apocarotenoides (carotenoides con menos de 40 átomos de carbono) e hidroxilación, obteniéndose compuestos de bajo peso molecular. En consecuencia, se pierden propiedades como el color y los beneficios para la salud, dando lugar a compuestos aromáticos que en ocasiones puede ser deseable (té, vino) y en otros no (Meléndez-Martínez et al., 2004).

#### **2.4.7. EFECTO DEL ALMACENAMIENTO**

El tiempo del almacenamiento influye en los carotenoides dependiendo de las condiciones en la que se expone. Estudios revelan que existen diferencias en  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno y luteína cuando se almacenan en oscuridad a diferentes temperaturas (4°C, 25°C y 45°C) y almacenado a 25°C con acción luminosa, dando como resultado que la forma *trans* disminuían cuando se almacenaba a temperaturas altas y mayores tiempos de exposición a la luz (Meléndez-Martínez et al., 2004).

### **2.5. CONSERVACIÓN Y REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS DE ALIMENTOS**

Según The Food and Agriculture Organization (FAO, 2020) las frutas y hortalizas son una fuente de nutrientes indispensables para una dieta saludable. Sin embargo, la obtención de estos alimentos depende mucho del tiempo de cosecha y la estacionalidad, siendo muy perecederas y limitando su tiempo de vida útil a pesar de que se realice una conservación por frío. Por otra parte, menciona también que en la actualidad sigue ocurriendo el desecho

de grandes cantidades de alimentos provenientes de las acciones de las empresas y proveedores alimentarios, por lo que es de suma importancia utilizar tecnologías y procedimientos que asegure la preservación de los mismos. Además, recomienda conservar correctamente las frutas y verduras para evitar pérdidas de las características organolépticas ya que por el contexto de la pandemia de COVID-19 y los diversos protocolos de sanidad muchas personas han adquirido menos cantidades de alimentos frescos de los mercados por lo que es relevante conocer métodos de conservación en casa.

## **2.6. ENCURTIDOS**

Una forma de conservar alimentos es por medio de los encurtidos, este se describe como un proceso de conservación mediante una fermentación en salmuera (disolución de sal en agua) dentro de un envase cerrado (bajo nivel de oxígeno) con el fin de producir ácido láctico. Otro método sencillo es adicionando una solución ácida al alimento, el cual comúnmente es vinagre (ácido acético). Estos procedimientos son importantes porque otorga mayor tiempo de vida útil a las hortalizas frescas de días a meses. Las hortalizas encurtidas no necesitan un tratamiento térmico severo para su elaboración antes de ser envasadas en los empaques, ya que el ácido es la principal barrera en esta clase de productos (FAO, 2020).

### **2.6.1. ENCURTIDOS DE AJÍ CHARAPITA**

Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2020) el encurtido de ají charapita sigue un proceso fermentativo láctico, con una acidez adecuada usando vinagre y ajíes de buena calidad, frescos, sanos y limpios que provienen de parcelas agroecológicas de productores de la Asociación de Productores Ecológicos El Pimental (APE Pimental). Además, mencionan que en la elaboración de los encurtidos de la marca “Pimental”, los ajíes son sometidos a un tratamiento térmico de escaldado a temperatura de 90°C durante 3 a 5 minutos para la inactivación de enzimas y son envasados en frascos de vidrio junto con un líquido de gobierno pasteurizado, compuesto por una solución de vinagre con 5 % de ácido acético y sal 3 %, a 80°C de 3 a 5 minutos. El sellado es de forma manual y los envases son invertidos para aplicar vacío, evitando de esta forma la incorporación de oxígeno en el interior. Finalmente, son enfriados a temperatura ambiente con ayuda de agua fría y son etiquetados con el logo de la marca, cada frasco contiene aproximadamente 200 gramos del producto y existen diversas presentaciones de ajíes nativos y/o mixtos.

La Figura 9 muestra el producto típico de encurtido de ajíes nativos elaborado por APE Pimental:



**Figura 9: Encurtido de ají charapita**

FUENTE: MIDAGRI (2020)

## 2.6.2. INSUMOS

### a. Sal

La sal es un agente conservador de los alimentos, en la fermentación la sal puede cumplir un rol de selección en el crecimiento de microorganismo de acuerdo a la concentración. Es por ello que, se le considera un controlador de la actividad en la fermentación, por lo que las bacterias, mohos y levaduras no se pueden desarrollar en soluciones altas de sal. También, la conservación por sal afecta el color y la textura de la hortaliza lo que disminuye la calidad de las mismas (Bravo & Bravo, 2014).

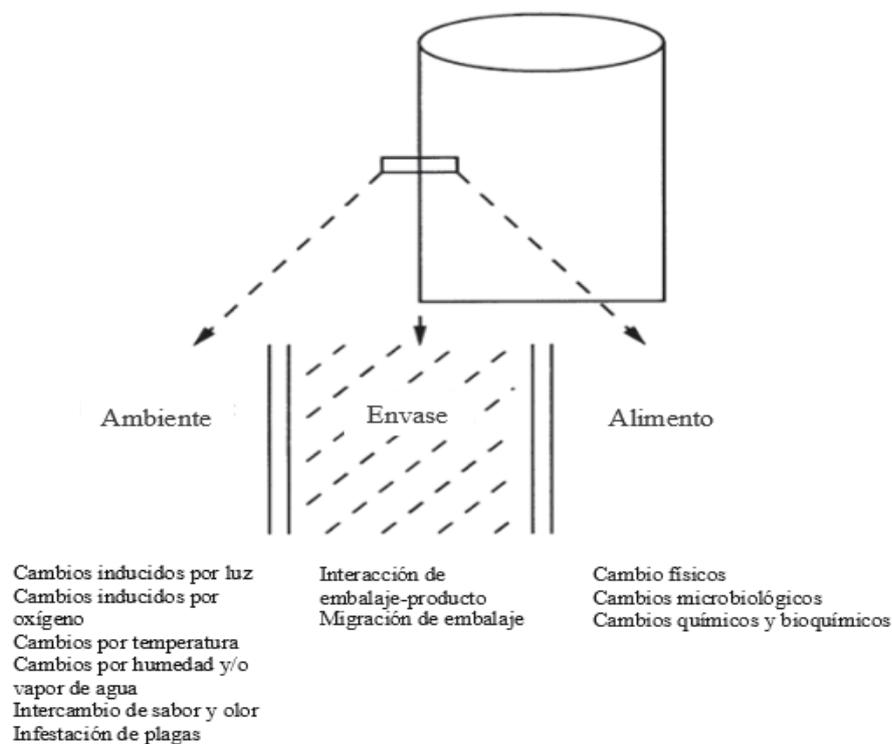
### b. Vinagre

El vinagre deriva del francés “vin-aigre” (vino agrio), por lo que solo el producto procedente del vino se puede llamar así. Sin embargo, de forma general se llama vinagres a los productos resultantes de la fermentación acética de una materia prima alcohólica, por lo que existe distintos vinagre tales como: vinagre de sidra, vinagre de malta, etc. En los vinagres vínicos aparecen los componentes del vino que no se han transformado por las bacterias (ácido tartárico y prolina), siendo el ácido acético el componente principal y el más abundante ya que los demás compuestos son mucho más reducidos (Llaguno & Polo, 1991).

## 2.7. IMPORTANCIA DE LOS ENVASES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Gran parte de los alimentos sufren alteraciones durante el almacenamiento, y muchas veces estos cambios generan que el alimento disminuya su sabor y atracción, así mismo existen diversas formas de deterioro en la interacción del ambiente, envase y alimento. Por consiguiente, los sistemas de envasado además de asegurar que el alimento sea inocuo, de sencilla manipulación y el poder brindar información correspondiente del envase hacia el consumidor, también deben mantener las características sensoriales propias del alimento. Es por ello, el empaque debe actuar como barrera contra el oxígeno, barrera de humedad, barrera de aromas o barrera de la luz dependiendo de qué tipo de alimento se requiera envasar y el ambiente donde se encuentra. Por lo tanto, el empaque tiene un rol muy determinante en la vida útil de los alimentos y es de suma importancia que se seleccione adecuadamente el tipo de material y la forma para el producto que se necesite (Man & Jones, 1994).

La Figura 10 muestra los factores influyentes y el comportamiento que se genera en la interacción del sistema ambiente, envase y alimento:



**Figura 10: Cambios en la interacción ambiente, empaque y alimento**

FUENTE: Man & Jones (1994)

### **2.7.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS PLÁSTICOS USADOS COMO EMPAQUES**

Los plásticos son utilizados como envases primarios, estos pueden ser empleados junto con otros materiales como el aluminio o papeles dando nuevos envases llamados laminados. Las principales ventajas de los plásticos es que son polímeros muy livianos, ya que tienen una densidad cerca a los  $1000 \text{ kg/m}^3$ , son baratos, fáciles de procesar y moldear. Por otra parte, una desventaja de estos es que no actúan completamente como barrera de gases y vapores, por lo que diversos factores ambientales pueden interactuar en pequeña medida con el alimento. Así mismo, muchos alimentos envasados con material plástico aseguran altas vidas útiles, lo que el consumidor se encuentra muy satisfecho por ello. Sin embargo, el uso excesivo de plástico en el empaque y embalaje va en contra de una política ambiental amigable, por lo que asegurar la calidad del alimento siendo respetuoso con el ambiente, lo que lo vuelve una tarea complicada para las industrias de alimentos (Man & Jones, 1994).

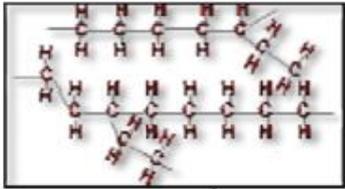
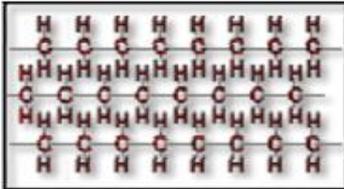
### **2.7.2. ENVASES DE POLIETILENO**

Los envases de polietileno son polímeros del etileno, y son los plásticos más utilizados en los envases y embalajes. Este material es una de las más importantes resinas usadas en empaques porque puede proporcionar buenas propiedades mecánicas, alta resistencia a la tracción, fácil manipulación y de muy bajo costo. Se pueden dividir principalmente en 2 clases: baja densidad y alta densidad. El polietileno de baja densidad (LDPE) es producido solo por una polimerización de adición, mientras que el polietileno de alta densidad (HDPE) es producido cuando dos procesos diferentes trabajan juntos, polimerización de coordinación y polimerización de adición con un metal soportado por un catalizador de óxido (Sam et al., 2014).

El LDPE no se puede reusar directamente después de haber cumplido su principal función en los productos, a pesar de ello, el polietileno de baja densidad reciclado se puede reutilizar como revestimiento de contenedores de residuos sólidos, paneles, muebles e incluso en pisos. Así mismo, existen dos formas en que puede reutilizarse: mediante una mezcla térmica con otros polímeros donde involucra procesos de molienda y secado, dando como resultado productos de mucha utilidad en las industrias textiles y mediante un reciclado químico, logrando obtener productos derivados del petróleo como hidrocarburos, compuestos aromáticos, gases, metano e incluso combustible (Murcia et al., 2021).

En la Tabla 3 se presentan las diferencias más importantes entre el polietileno alta densidad y el polietileno de baja densidad descrita por el sitio web de educación científica (AUSSETUTE 2021):

**Tabla 3: Diferencias entre el polietileno de baja con el de alta densidad**

Propiedades	LDPE	HDPE
<b>Estructura</b>		
<b>Densidad</b>	0.91-0.94 g/cm <sup>3</sup>	0.95-0.97 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	~115°C	~135°C
<b>Cristalinidad</b>	Baja cristalinidad (50-60 % cristalino)	Alta cristalinidad (>90 % cristalino)
<b>Flexibilidad</b>	Más flexible debido a su baja cristalinidad	Más rígido debido a su alta cristalinidad
<b>Transparencia</b>	Buena transparencia ya que es más amorfo (regiones no cristalinas)	Menos transparencia que el LDPE porque tiene mayor cristalinidad
<b>Resistencia al calor</b>	Mantiene la dureza y la flexibilidad en gran rango de temperatura. La densidad cae en temperatura mayor al ambiente	Mantiene utilidad por encima de los 100°C
<b>Propiedades químicas</b>	Inerte. La luz y el oxígeno hace perder fuerza y resistencia	Químicamente inerte
<b>Usos</b>	Bolsas de sándwich, fundas, revestimientos, films	Tuberías de agua, aislamiento de cables

FUENTE: AUSSETUTE (2021)

### **2.7.3. ENVASES DOYPACK STAND UP CON CIERRE ZIPPER**

La OsonaSealPack (OSP) menciona que las bolsas y los envases Doypack o también llamadas bolsas stand-up proviene de la asociación “Doyen Packagin” y fue inventado por el francés Louis Doyen en 1963, que fue presidente de la sociedad Thimonier. Este invento fue el inicio de una revolucionaria idea de envase flexible que llevaría a diversas investigaciones por diferentes industrias (OSP, 2020). El tipo de material que contiene este empaque depende del tipo de alimento que se requiera envasar y la cantidad. Por lo general, se encuentran Doypack bilaminados y trilaminados con polietileno de alta densidad (HDPE) y polietilentereftalato (PET), estos le otorgan gran conservación y barrera contra humedad y oxígeno (Envapack, 2017).

La Abastecedora de Empacadoras y Rastros (AERSA) menciona que las bolsas Doypack son fabricadas con tres soldaduras con una base curvada que permite tener una posición vertical estable, son termosellables y tienen diferentes ventajas en el almacenado de alimentos líquidos y sólidos, y es muy atractivo para el consumidor. Este tipo de material pretende sustituir a envases como lata o vidrio, siendo de fácil practicidad (AERSA, 2020).

Dependiendo de la naturaleza del material en sus capas, algunos de estos envases pueden soportar esterilización, pasteurización, microondas y envasados al vacío. Además, resisten la rotura o desgarró durante los transportes, son flexibles lo que puede sustituir materiales duros como el vidrio y el metal, ocupan poco espacio en el transporte y almacén, lo que disminuye precios en la logística, y es de fácil adaptación por las aplicaciones de publicidad, impresiones y presentaciones innovadoras (OSP, 2020). En la Figura 11 se muestra el envase laminado con tres sellos y base curva con cierre zipper:



**Figura 11: Envase laminado Doypack**

FUENTE: Envapack (2017)

## 2.8. VIDA ÚTIL

La vida útil de un alimento se define como el rango de tiempo por el cual el alimento es inocuo y no representa riesgo para la salud desde una perspectiva sanitaria, cumpliendo con las propiedades sensoriales, funcionales y nutricionales del producto que previamente se ha establecido como los límites de calidad aceptables (Hough & Wittig, 2005).

La calidad total de un producto incluye el origen, desarrollo, producción hasta llegar al consumo. Existen diversos factores en la vida útil que se debe tomar en cuenta: la naturaleza del alimento, composición, materias e insumos utilizados, procesos, tecnologías, envases, condiciones de almacenamiento, transporte y manipulación final del consumidor. Todas estas variables suelen afectar y deteriorar la calidad del alimento, por lo que se debe tomar en cuenta a la hora de realizar un estudio de vida útil (Man & Jones, 1994).

En la Tabla 4 se presenta ejemplos de vida útil típicos de algunos alimentos y sus factores de deterioro descrito por Man & Jones (1994):

**Tabla 4: Ejemplos de productos alimenticios y sus vida útiles típicas**

<b>Producto alimenticio</b>	<b>Vida útil común</b>	<b>Factores de alteración</b>
Pan	Hasta 1 semana en ambiente	Rancidez, textura
Salsas y aderezos	1-2 años en ambiente	Rancidez, color
Encurtidos	2-3 años en ambiente	Rancidez, textura
Alimentos refrigerados	Hasta 4 meses a 0-8°C	Microbiológico, color, sabor
Alimentos congelados	1-1 ½ en congeladores	Color, textura
Enlatados (sin lacar)	1-1 ½ en ambiente	Caída de estaño
Enlatados (lacada)	2-4 años en ambiente	Rancidez, textura

FUENTE: Man & Jones (1994)

## **2.9. ÍNDICES DE FALLA Y DETERIORO**

Los índices de deterioro son aquellas mediciones sensoriales, químicas, físicas o microbiológicas que pueden utilizarse para determinar variaciones notorias en estudios de vida útil y los índices de falla son aquellos atributos de calidad que determinan que el alimento ya no es admisible para el consumidor, estos pueden coincidir o no con los índices de deterioro (Nicoli, 2012).

## **2.10. EVALUACIÓN SENSORIAL**

La evaluación sensorial es una característica innata de las personas que consiste en aceptar o rechazar los alimentos conforme a las sensaciones experimentadas al momento que se va analizar o probar el producto. Sin embargo, estas sensaciones pueden variar de acuerdo a diversos factores como: el tiempo, lugar y el momento en que se perciben los alimentos. Así mismo, para que un estudio de análisis sensorial se pueda reproducir con un adecuado grado de aceptación y credibilidad, se debe fijar claramente el objetivo del experimento y las condiciones que pueden interferir en la obtención de respuestas para que puedan ser contables y reproducibles con una gran precisión (Santa Cruz et al., 2005).

En el análisis sensorial existen tres tipos de pruebas: pruebas afectivas, discriminativas y descriptivas. Las pruebas afectivas son aquellas pruebas que consisten en la evaluación de las respuestas de los jueces basados en las reacciones subjetivas del alimento, mencionando si les agrada o si prefieren otro. En general se realizan con paneles sin entrenamiento previo o con consumidores comunes (Cárdenas et al., 2018).

Las pruebas afectivas se dividen en tres tipos: pruebas de preferencia, pruebas de grado de satisfacción y pruebas de aceptación. Las pruebas de preferencia se utilizan para conocer si los jueces prefieren una muestra de otra, las pruebas de satisfacción son utilizadas con el objetivo de conocer las respuestas de los consumidores acerca de las características de un producto y estas se cuantifican con una escala hedónica de puntuaciones, y las pruebas de aceptación son aquellas evaluaciones que se realiza con el fin de conocer si un consumidor desea adquirir un producto y no sólo depende del aspecto agradable o desagradable del producto, sino también de lo económico, cultural y de hábitos (Vera, 2008).

## 2.11. ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA

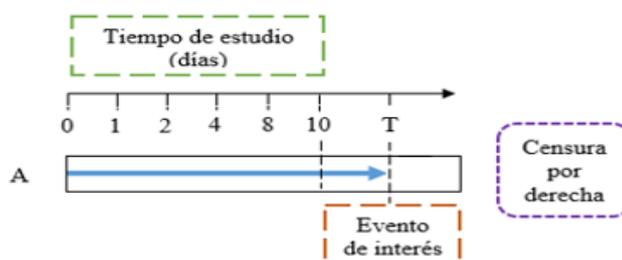
El análisis de supervivencia es el conjunto de métodos estadísticos para el análisis de datos, donde el tiempo es la variable significativa hasta que suceda un evento. Por evento, se refiere a un hecho, incidencia, experiencia o cualquier cambio notorio que pueda sucederle al objeto de estudio (Kleinbaum & Klein, 2012). Esta herramienta estadística es muy aplicada en las áreas de medicina y epidemiología (Gómez & Cobo, 2004), y en mecánica para componentes tales como motores, autopartes y lámparas (Nelson, 2009). En la industria alimentaria, el riesgo de que un alimento falle no está determinado por la degradación del producto, sino por el rechazo que el consumidor realiza sobre el producto (Garitta et al., 2005).

### 2.11.1. FENÓMENOS DE CENSURA

Uno de los principales inconvenientes en encontrar la vida útil es que los datos en el instante que el panelista rechaza el alimento depende del tiempo de almacenamiento en que prueba el producto. El tiempo  $T$  hasta que ocurre el rechazo no se logra visualizar con exactitud, dando como consecuencia los llamados tiempos censurados (Meeker et al., 2022). Los datos de tiempo hasta que ocurra el evento se muestran de diversas formas, lo que crea dificultades particulares al estudiar dicha información (Hough, 2010).

#### a. Censura por la derecha

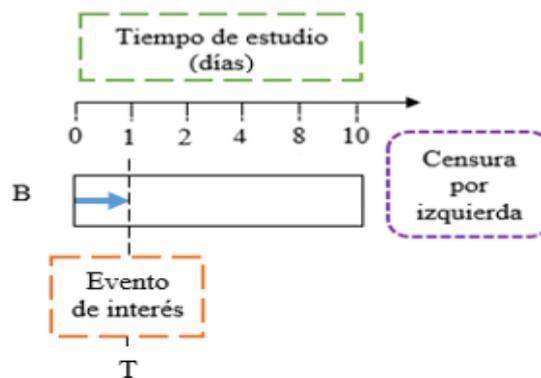
Hough (2010) menciona que la censura por la derecha es cuando el evento de interés no ocurrió durante el periodo en que el sujeto de estudio realizó la evaluación, esta observación es censurada por la derecha. También, Kleinbaum & Klein (2012) lo definen como el tiempo de supervivencia real es mayor o igual que el tiempo de supervivencia observado. La Figura 12 muestra un ejemplo de censura por derecha en un estudio de 10 días de almacenamiento:



**Figura 12: Censura por la derecha de un estudio**

**b. Censura por la izquierda**

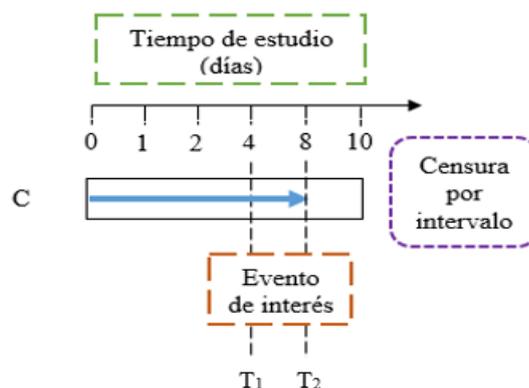
Hough (2010) menciona que la censura por la izquierda es cuando el sujeto de estudio ha pasado por el evento de interés antes que empiece el estudio. En otras palabras, Kleinbaum & Klein (2012) lo definen como el tiempo de supervivencia real es menor o igual que el tiempo de supervivencia observado. La Figura 13 muestra un ejemplo de censura por izquierda en un estudio de 10 días de almacenamiento:



**Figura 13: Censura por la izquierda de un estudio**

**c. Censura por intervalo**

Hough (2010) menciona que la censura por intervalo ocurre cuando el sujeto de estudio detecta el evento de interés en un rango de tiempo pero no se sabe el momento exacto. Así mismo, Kleinbaum & Klein (2012) lo definen como el tiempo real de supervivencia se encuentra dentro de un intervalo de tiempo conocido. La Figura 14 muestra un ejemplo de censura por intervalo en un estudio de 10 días de almacenamiento:



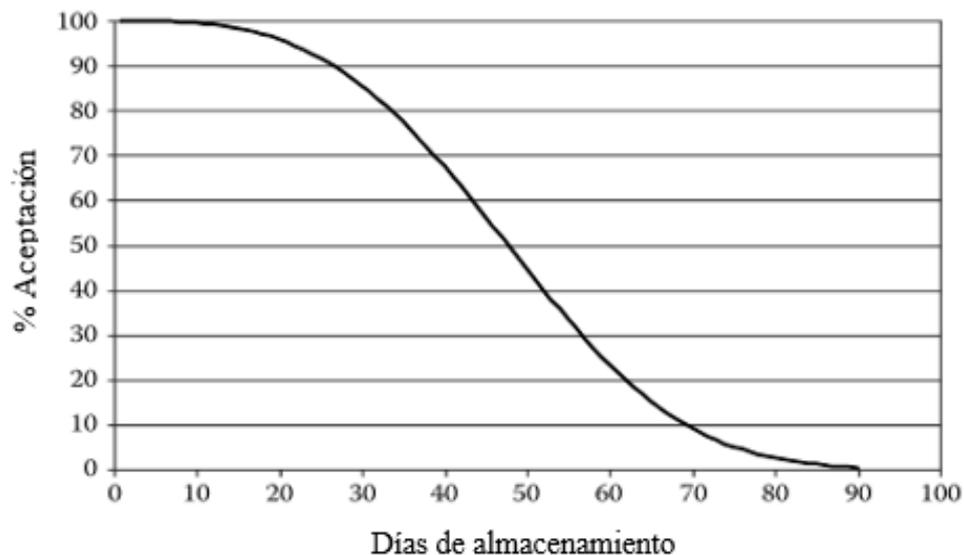
**Figura 14: Censura por intervalo de un estudio**

### 2.11.2. FUNCIÓN DE SUPERVIVENCIA O ACEPTACIÓN EN LA VIDA ÚTIL

En estudios de vida útil de alimentos, las muestras analizadas se muestran en diferentes tiempos de almacenamiento para los consumidores. Se define una variable aleatoria  $T$  como el tiempo de almacenamiento que el consumidor rechaza una muestra alimenticia. Es por ello que, la función de supervivencia  $S(t)$  se puede definir como la probabilidad de que un consumidor acepte un producto más allá del tiempo  $t$ , es decir  $S(t) = P(T > t)$  y está definida por  $t \geq 0$  (Hough et al., 2003). Hough (2010) define las siguientes funciones:

- Función de supervivencia,  $S(t)$
- Función de probabilidad de densidad,  $f(t)$
- Función de riesgo,  $h(t)$
- Los consumidores aceptan el producto fresco,  $S(0)$
- Los consumidores rechazan el producto almacenado por periodos prolongados,  $S(\infty) = 0$
- Si  $T$  es continua,  $S(t)$  es continua y estrictamente decreciente

La Figura 15 muestra la gráfica de la función de supervivencia de un estudio:



**Figura 15: Función de supervivencia o aceptación de los consumidores**

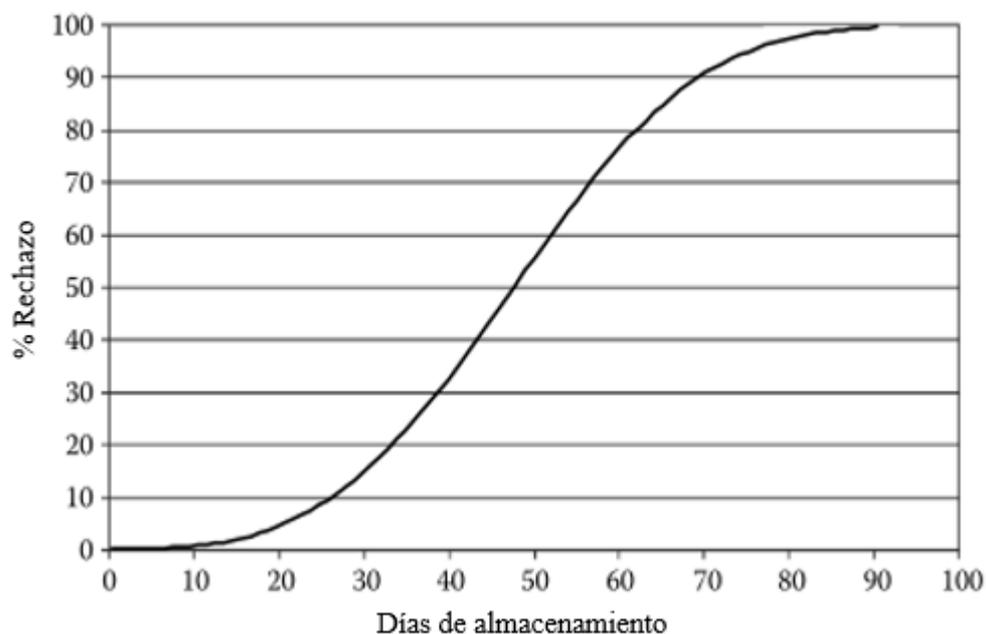
FUENTE: Hough (2010)

### 2.11.3. FUNCIÓN DE FALLA O RECHAZO EN LA VIDA ÚTIL

La función de falla o rechazo (conocida como distribución acumulada de T) es definida como la probabilidad de que el individuo falle antes del tiempo t siendo expresada de la siguiente forma:  $F(t) = P(T \leq t)$  y se define para  $t \geq 0$ . Esta función se interpreta como la probabilidad de que un consumidor rechace un alimento almacenado por menos de un tiempo t (Hough, 2010). Hough (2010) define las siguientes funciones:

- Función de falla o rechazo (distribución acumulativa),  $F(t)$
- Los consumidores aceptan la muestra fresca  $F(0) = 0$
- Los consumidores rechazan el producto almacenado por periodos prolongados,  $F(\infty) = 1$
- Si T es continuo,  $F(t)$  es continuo y estrictamente creciente
- $F(t) = 1 - S(t)$

La Figura 16 muestra la gráfica de la función de falla de un estudio:



**Figura 16: Función de falla o rechazo de los consumidores**

FUENTE: Hough (2010)

#### 2.11.4. MODELO PARA ESTIMAR LA FUNCIÓN DE RECHAZO

Para estimar la función de rechazo se maximiza la función de verosimilitud (V), esta se define como aquella fórmula matemática en donde se encuentra el conjunto de probabilidades de datos observados que los consumidores realizaron en un estudio, expresándose en una función de parámetros no definidos de un modelo conocido (Klein & Moeschberger, 1997):

$$V = \prod_{i \in R} (1 - F(r_i)) \prod_{i \in L} F(l_i) \prod_{i \in I} ((F(r_i) - F(l_i))) \dots \dots (1)$$

De la Ecuación (1), se define:

- $1 - F(r_i)$ : Probabilidad de los datos observados censurados por la derecha
- $F(l_i)$ : Probabilidad de los datos observados censurados por la izquierda
- $F(r_i) - F(l_i)$ : Probabilidad de los datos observados censurados por intervalo
- R es el conjunto de observaciones censuradas por la derecha
- L es el conjunto de observaciones censuradas por la izquierda
- I es el conjunto de observaciones censuradas por intervalo

Se puede apreciar que cada tipo de censura influye de forma diferente a la función de probabilidad. Si se supone una distribución adecuada y conociendo que los tiempos de rechazo no se distribuyen normalmente, porque suelen estar sesgadas hacia la derecha, los modelos paramétricos son la mejor alternativa para estimar de manera adecuada la función de rechazo. Por lo tanto, la función de máxima verosimilitud tan solo depende de los parámetros del modelo escogido. La forma inicial que se toma como base, es un modelo logarítmico lineal que en lugar de utilizar un modelo que involucre directamente el tiempo de falla T, se emplea su transformación logarítmica y suele estar expresado por (Garitta et al., 2005):

$$Y = \ln(T) = \mu + \sigma W \dots \dots (2)$$

De la Ecuación (2), se define:

- T: tiempo de rechazo o falla
- Parámetro  $\mu$  (mu): intercepto en la función logarítmico lineal
- Parámetro  $\sigma$  (sigma): pendiente de la función lineal
- W: error de la distribución

Klein & Moeschberger (1997) presentaron diferentes posibles modelos para T, siendo los más representativos el modelo log-normal y el modelo de Weibull. Con el primero, W representa la distribución normal estándar, y con el último W representa la distribución del valor extremo más pequeño.

### **2.11.5. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL**

La distribución de Weibull fue descubierta por el matemático sueco Waloddi Weibull, quien lo definió como una distribución de probabilidad continua e inicialmente fue utilizada para modelar la resistencia a la rotura de componentes materiales. Sin embargo, afirmó que su distribución podía tener mucha capacidad para futuras investigaciones cuando publicó su artículo llamado “Una función de distribución estadística de amplia aplicabilidad” en el año 1951. Hoy en día es muy utilizado para estudiar la confiabilidad del producto, vida útil y estimar tiempos de falla en componentes industriales. Esta distribución se puede adaptar y aplicar a distintos campos tales como: biología, economía, ciencia de la ingeniería e hidrología (Rinne, 2008).

Meeker et al. (2022) modelaron la función de rechazo para una distribución de Weibull de la siguiente manera:

$$F(t) = F_{sev} \left( \frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right) \dots \dots (3)$$

Donde  $F_{sev}(\cdot)$  es la función de rechazo de la distribución del valor extremo expresándose:

$$F_{sev}(w) = 1 - \exp(-\exp(w)) \dots \dots (4)$$

En consecuencia, la distribución de Weibull se expresa de la siguiente forma:

$$F(t) = 1 - \exp \left[ - \exp \left( \frac{\ln(t) - \mu}{\sigma} \right) \right] \dots \dots (5)$$

Donde  $F(t)$  es la función de falla o rechazo;  $t$  es el tiempo en días u horas;  $\mu$  (mu) y  $\sigma$  (sigma) son los parámetros del modelo de Weibull.

La distribución de Weibull puede ser expresada de una forma diferente (Gacula & Kubala, 1975; Gacula et al., 2008; Meeker et al., 2022):

$$F(t) = 1 - \exp \left( - \left( \frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right) \dots \dots (6)$$

Donde  $\alpha$  es el parámetro de escala y  $\beta$  el parámetro de forma, y se relacionan con los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$ , respectivamente. Estos se expresan de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{1}{\beta} \dots \dots (7)$$

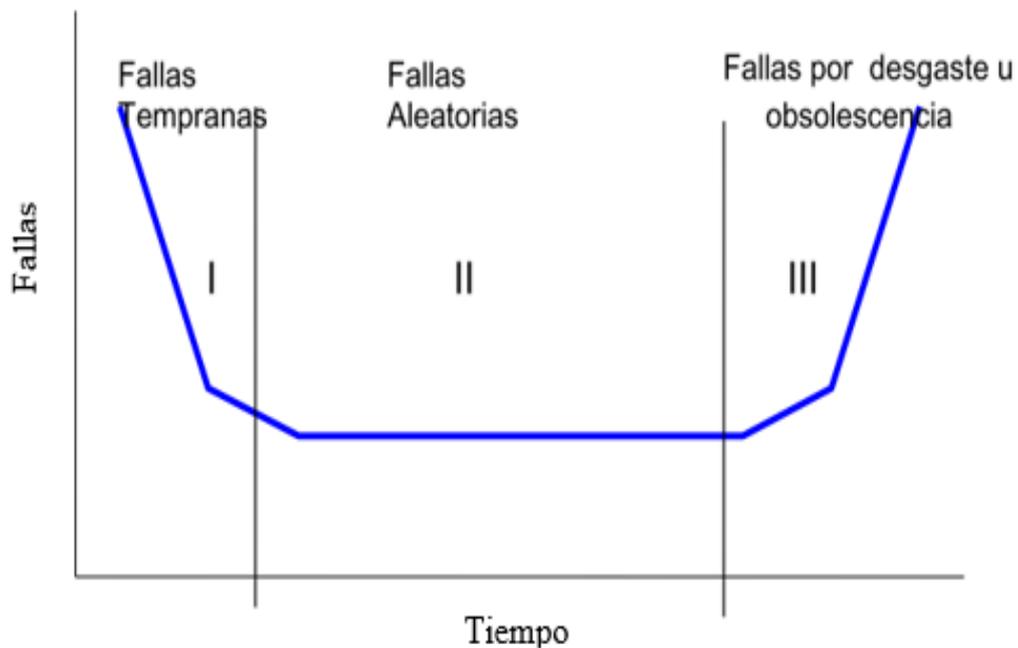
$$\mu = \ln(\alpha) \dots \dots (8)$$

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros que definen el diseño de la distribución de un modelo, por lo que la distribución de Weibull puede adquirir diversas formas de acuerdo a los valores que toman estos parámetros. El parámetro de escala  $\alpha$  es la vida característica o la edad a la cual el 63.2% de la población ha fallado, tiene el mismo efecto en la distribución que un cambio de escala de la abscisa, si  $\alpha$  se incrementa la distribución se contrae y si  $\alpha$  disminuye la distribución se expande (Salazar et al., 2017).

El parámetro de forma  $\beta$  es utilizado para clasificar la fallas, el cual sigue un patrón general de fallas llamado curva típica de fallas o curva de la bañera (Figura 17), esta curva representa los diferentes tipos de fallas que sufren comúnmente los equipos o componentes desde su puesta en operación hasta el final de su vida útil. Cuando  $\beta < 1$  la función disminuye de manera asintótica e indica fallas tempranas que son causadas por bajo control de calidad y/o

material defectuoso utilizado, cuando  $\beta = 1$  la función asume la forma exponencial e indica fallas aleatorias y cuando  $\beta > 1$  se asemeja a una forma de campana e indica fallas debido al desgaste o la edad (Salazar et al., 2017).

En la Figura 17 se muestra la curva típica de flujo de fallas o también llamado curva de la bañera donde el valor de  $\beta$  define el tipo de falla que genera a lo largo del tiempo.



**Figura 17:** Curva típica de flujo de fallas o curva de la bañera

FUENTE: Salazar et al. (2017)

## 2.12. PRUEBAS ACELERADAS DE VIDA ÚTIL

El constante desarrollo de nuevos productos, cambios de tecnología y grandes expectativas del consumidor genera que la investigación de la vida útil sea en tiempos relativamente más cortos (días o semanas). Por lo tanto, las pruebas aceleradas o llamadas Accelerated Shelf Life Testing (ASLT) se emplean para obtener información de altas variables aceleradoras; como por ejemplo, temperatura o humedad, que pueden ser extrapoladas y posteriormente obtener valores pequeños o normales de las variables aceleradas (Meeker et al., 2022).

### 2.12.1. ECUACIÓN DE ARRHENIUS Y FACTOR DE LA TEMPERATURA DE ACELERACIÓN

La ecuación de Arrhenius es una expresión que modela los cambios de las velocidades de reacción en función de la temperatura, relacionándose empíricamente (Meeker et al., 2022). La clave de la ecuación de Arrhenius para obtener estimaciones de vida útil a diferentes temperaturas experimentales es la energía de activación. Así mismo, la velocidad de reacción está influenciada por tres o más temperaturas, y los logaritmos de estos valores son enfrentados con la inversa de la temperatura absoluta ( $1/\Theta$ ) para obtener la energía de activación de la pendiente resultante (Taoukis et al., 1997).

Por otra parte, al realizar análisis de regresión se emplean métodos estadísticos para determinar los límites de confianza del 95 % de la energía de activación, por lo que si solo se trabaja con tres velocidades de reacción el rango de confianza suele ser amplio (Taoukis et al., 1997). El empleo de cinco o seis son necesarios para obtener valores mucho más precisos, pero esto conlleva a utilizar más tiempo, dinero y recursos por lo que muchas veces no está permitido en una investigación (Lenz & Lund, 1980).

Taoukis et al. (1997) propone el método de un solo paso que consiste en relacionar la ecuación de la velocidad de reacción con la ecuación de Arrhenius. En este método se utiliza valores experimentales provenientes de análisis fisicoquímicos o sensorial medibles en función del tiempo de las temperaturas de la prueba, lo que resulta un aumento en los grados de libertad y proporciona un intervalo de confianza más estrecho para los parámetros.

Hough et al. (2006) presentaron las ecuaciones utilizadas del método de un solo paso de Taoukis et al. (1997) para estimar la vida útil de carne picada como un alimento de referencia, la cual presenta un color marrón distintivo durante el almacenamiento. La estimación de la vida útil se hace en base a la aceptación o rechazo del color de la carne por los consumidores. Se asume que el desarrollo del color marrón sigue una cinética de orden cero, esto es  $dBC(t, \Theta)/dt = k(T)[BC(t, \Theta)]^n$  con  $n = 0$ ; es decir:

$$BC(t, \Theta) = BC_0 + k(\Theta).t \dots \dots (9)$$

Donde  $BC(t, \Theta)$  es el color marrón para un tiempo de almacenamiento “t” para una temperatura de almacenamiento igual a  $\Theta$ ,  $BC_0$  es el color marrón para el tiempo 0,  $k(\Theta)$  es la velocidad de reacción constante para la temperatura  $\Theta$ . La expresión de k nos indica que la velocidad es directamente proporcional a la frecuencia de colisiones en una reacción. El valor de la velocidad aumentará cuando aumenta la temperatura y cuando disminuye la energía de activación; es decir, a mayor temperatura más rápido ocurrirá la reacción y lo mismo cuando la energía de activación es menor, la reacción de deterioro transcurrirá rápidamente.

Ahora se establece una relación entre la vida útil a la temperatura de uso  $\Theta_U$  y la vida útil a la temperatura  $\Theta$  basado en la ecuación de Arrhenius, cual está definido como:

$$k(\Theta) = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R \cdot \Theta}\right) \dots \dots (10)$$

Donde  $k$  es la constante de velocidad de la reacción de deterioro;  $k_0$  es una constante conocida como factor pre exponencial;  $E_a$  es la energía de activación (cal/mol);  $R$  es la constante de los gases (1.98 cal /mol.K) y  $\Theta$  es la temperatura en Kelvin. De la Ecuación (10) se define el factor de aceleración (AF)

$$AF = \frac{k(\Theta)}{k(\Theta_U)} = \exp\left(E_R \left(\frac{1}{\Theta_U} - \frac{1}{\Theta}\right)\right) \dots \dots (11)$$

Donde  $\Theta_U$  se refiere a la temperatura que deseamos estimar,  $\Theta$  temperatura de referencia y  $E_R = E_a/R$ . De la Ecuación (9) y (11):

$$BC(t, \Theta) = BC_0 + AF \cdot k(\Theta_U) \cdot t \dots \dots (12)$$

Se debe tener en cuenta que en la Ecuación (12) se ha desarrollado en términos de un tiempo de almacenamiento arbitrario t de un determinado producto, y podría ser expresado también en términos del tiempo de rechazo  $T(\Theta)$  y  $T(\Theta_U)$  de un consumidor para una temperatura acelerada ( $\Theta$ ) y para la temperatura de uso ( $\Theta_U$ ); esto es:

$$BC(T(\theta), \theta) = BC_0 + AF \cdot k(\theta_U) \cdot T(\theta) \dots \dots (13)$$

$$BC(T_U(\theta_U), \theta_U) = BC_0 + k(\theta_U) \cdot T(\theta_U) \dots \dots (14)$$

Se supone que el color marrón al que determinado consumidor rechazará la carne picada es el mismo independientemente de la temperatura a la que se almacenó, es decir, el consumidor mira la carne y decide rechazarla sin conocer a que temperatura se almacenó. Entonces, los términos de la izquierda de la Ecuación (13) y (14) son iguales y sigue:

$$T(\theta_U) = AF \cdot T(\theta) \dots \dots (15)$$

Esto significa que la vida útil en condiciones usuales es igual a la vida útil en condiciones aceleradas multiplicada por AF. Para usar la Ecuación (15) la energía de activación ( $E_a$ ) debe ser conocida (calculada). Las técnicas de análisis de supervivencia permiten encontrar esta variable ( $E_a$ ) por lo que es de suma importancia conocer la relación que sigue con dicho método.

Suponiendo que el color marrón sigue la cinética de primer orden, es decir,  $\log(BC(t, \theta)) = \log(BC_0) + k(\theta) \cdot t$ , la misma relación entre la vida útil a la temperatura de uso ( $\theta_U$ ) y la vida útil a la temperatura  $\theta$  en la Ecuación (15) se mantiene.

### 2.12.2. FUNCIÓN DE FALLA ACELERADA Y MODELO ARRHENIUS-WEIBULL

La ecuación básica que relaciona las probabilidades de rechazo a diferentes temperaturas es la siguiente (Meeker et al., 2022):

$$F(t, \theta) = F(t \cdot AF, \theta_U) \dots \dots (16)$$

La Ecuación (16) significa que la probabilidad de rechazo correspondiente al tiempo  $t$  en la condición de temperatura  $\theta$  es igual a la probabilidad de rechazo correspondiente al tiempo  $t$  multiplicada por el factor de aceleración (AF) a una temperatura normal de almacenamiento. Ahora, si  $F(t)$  es una distribución de log-localización-escala (por ejemplo lognormal o Weibull) con parámetros  $\mu$  y  $\sigma$ ,  $\ln(t_p) = \mu + \sigma \Phi^{-1}(p)$ , donde  $\sigma \Phi^{-1}(p)$ ,  $\Phi$  es

la distribución normal estándar (caso lognormal) o de valores mínimos extremos (caso Weibull) y  $(p)$  es el percentil usado que por lo general es 0.5. De modo que la Ecuación (16) puede ser expresada como:

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu_{\theta}}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{\ln(t \cdot AF) - \mu_{\theta_U}}{\sigma}\right) = \Phi\left(\frac{\ln(t) - (\mu_{\theta_U} - \ln(AF))}{\sigma}\right) \dots \dots (17)$$

De la Ecuación (17)  $\mu_{\theta}$  puede ser expresada como los modelos de regresión de log-localización-escala con covariables fijas  $W$  (Meeker et al., 2022):  $\mu(W) = \beta_0 + \beta_1 g(W)$  donde  $g(W)$  puede ser una función lineal, cuadrática o inversa.

$$\mu_{\theta} = \beta_0 + \beta_1 \cdot Z \dots \dots (18)$$

Considerando la Ecuación (11):

$$\ln(AF) = \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{\theta_U} - \frac{1}{\theta} \right)$$

Se tiene las siguientes relaciones:

$$\beta_0 = \mu_{\theta_U} - E_a/R \cdot \theta_U \dots \dots (19)$$

$$\beta_1 = E_a/R \dots \dots (20)$$

$$Z = 1/\theta \dots \dots (21)$$

Desarrollando la Ecuación (17) en términos de la Ecuación (18) se establece la ecuación:

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t) - (\beta_0 + \beta_1 \cdot Z)}{\sigma}\right) \dots \dots (22)$$

Para la distribución de Weibull, el valor de  $\Phi$  toma forma de  $F_{sev}$  de la Ecuación (4). Finalmente, la Ecuación (22) se expresa como la ecuación del modelo Arrhenius-Weibull:

$$F(t) = 1 - \exp \left[ -\exp \left( \frac{\ln(t) - \left( \beta_0 + \frac{E_a}{R\Theta} \right)}{\sigma} \right) \right] \dots \dots (23)$$

Donde T es el tiempo de almacenamiento en el que los consumidores rechazan el producto,  $\beta_0$  y  $\beta_1$  son los coeficientes de regresión, Z es la covariable que indica la inversa de la temperatura de la que se quiere estimar y  $\sigma$  es el parámetro que no depende de las covariables. Nelson (2009) menciona que el parámetro  $\sigma$  se asume constante a diferentes temperaturas, porque si tuviera diferentes valores  $\sigma$  a diferentes temperaturas daría como resultado líneas de distribución con diferentes pendientes. Dichas líneas se cruzarían y daría como resultado una menor probabilidad de rechazo para la temperatura más alta, más allá del tiempo en que las líneas se cruzan, dicho cruce sería físicamente imposible.

El valor de  $E_a$  es una indicación de cómo la aceptación o el rechazo de los consumidores, por la apariencia de la carne picada cruda, cambia con el tiempo de almacenamiento en función de la temperatura de almacenamiento. Este valor de  $E_a$  puede usarse para estimar la vida útil en temperaturas distintas a las experimentadas (Hough, 2010).

Hough (2010) menciona que si se conoce el valor del tiempo de vida útil (T) de la carne picada a una temperatura de referencia  $\Theta$  (temperatura conocida), considerando una probabilidad de rechazo del 50 %, se puede estimar la vida útil de la carne picada a una temperatura deseada  $\Theta_U$ , mediante la Ecuación (24):

$$SL(\Theta_U) = AF.T = \exp \left( \frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{\Theta_U} - \frac{1}{\Theta} \right) \right) x T \dots \dots (24)$$

Donde SL ( $\Theta_U$ ) es la vida útil a la temperatura deseada, AF es el factor de aceleración,  $E_a$  es la energía de activación del conjunto de temperaturas experimentales, R es la constante de los gases (8.314 J/mol.K) y T es el tiempo de vida útil de la temperatura de referencia.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. LUGAR DE ESTUDIO**

El presente trabajo se realizó en la Planta Piloto de Alimentos, así como, en las instalaciones de los laboratorios de Biotecnología de Alimentos, Microbiología de Alimentos, Investigación e Instrumentación, y laboratorio de Evaluación Sensorial de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú.

#### **3.2. MATERIAS PRIMAS, INSUMOS Y REACTIVOS**

##### **3.2.1. MATERIA PRIMA**

El ají charapita se obtuvo del Mercado Productores de Santa Anita, cuyo producto fue proveniente del departamento de Ucayali. Se inspeccionó y almacenó hasta su posterior uso de acuerdo a la metodología experimental.

##### **3.2.2. INSUMOS**

- Vinagre blanco comercial de marca Venturo (5 % de ácido acético)
- Sal yodada de cocina

##### **3.2.3. REACTIVOS Y SOLUCIONES**

- Fenoftaleína
- NaOH (0.1N)
- Agua destilada
- Hipoclorito de sodio (200 ppm)

### **3.3. MATERIALES, EQUIPOS Y PROGRAMAS**

#### **3.3.1. MATERIALES**

- Beakers 50 y 100 mL
- Bureta 25 mL
- Matraz Erlenmeyer 100 mL
- Fiola de 50 mL
- Mortero
- Cuchara de metal pequeña
- Soporte universal
- Probeta 10 mL
- Pipeta 10 mL
- Bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE) (ver Anexo 1)
- Bolsas laminadas Doypack (HDPE/PET) (ver Anexo 2)
- Termómetro
- Llenadora de líquidos de mano
- Mesa de acero inoxidable
- Ollas de acero inoxidable
- Cocina semi-industrial

#### **3.3.2. EQUIPOS**

- Balanza de precisión (OHAUS, TRAVELER TA 3001, USA)
- Balanza digital (PCE, BSH 10000, Alemania)
- Cámara climática (MEMMERT, ICH110C, Alemania)
- Potenciómetro (HANNA, MODELO HI 8424, Alemania)
- Espectrofotómetro CM-5 (KONICA MINOLTA, CR-410, Japón)

#### **3.3.3. PROGRAMAS**

- *Software R-Statistical 64bit* versión 4.1.2 (CRAN, USA)
- *Software Microsoft Excel* versión 2010 (MS, USA)

### 3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

#### 3.4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LOS ENCURTIDOS

Con la finalidad de evaluar el efecto que tiene la temperatura de almacenamiento y el tipo de envase en los encurtidos en el máximo tiempo de almacenamiento, se realizó algunos análisis a los ajíes y líquido de gobierno tal como se detalla a continuación:

##### a. Acidez titulable

La acidez titulable se realizó al líquido de gobierno compuesto por una dilución de vinagre y sal. El método utilizado fue el propuesto por Villar et al. (2017) que consistió en una volumetría ácido-base con fenolftaleína como indicador. Por lo tanto, se extrajo una muestra de 5 ml del líquido de gobierno, se depositó en una fiola de 50 ml y se aforó con agua destilada, luego se extrajo una alícuota de 10 ml y se depositó en un matraz Erlenmeyer de 100 ml. Así mismo, se adicionó una cantidad pequeña de agua destilada para observar mejor el viraje de color, se procedió agregar 3 gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH (0.1N) hasta observar un cambio de color a una tonalidad rosada. Finalmente, se anotó el gasto y los resultados se expresaron en porcentaje de ácido acético siguiendo la fórmula:

$$\% \text{ ácido acético} = \frac{V(mL)_{NaOH} \times N_{NaOH} \times meq_{\text{ácido acético}} \times 100}{Muestra (mL)} \times F.D$$

Dónde:

- V (mL) es el volumen gastado de NaOH
- $N_{NaOH}$  es la normalidad de hidróxido de sodio
- Meq ácido acético son los miliequivalentes de ácido acético (0.06)
- Muestra mL es la alícuota analizada
- F.D es el factor de dilución (10)

## **b. pH**

El análisis de pH se realizó al líquido de gobierno siguiendo el método propuesto por Villar et al. (2017) que consistió en un método potenciométrico. Por lo tanto, se introdujo el electrodo en una solución tampón pH 7, se dejó reposar por 30 segundos hasta observar el pH 7. Luego, se enjuagó con agua destilada y se introdujo el electrodo en una solución tampón pH 4, se dejó estabilizar hasta observar el pH 4. Finalmente, se enjuagó el electrodo para eliminar cualquier impureza y se procedió a medir la muestra de líquido de gobierno hasta observar el pH estable a temperatura ambiente.

## **c. Índice de color**

El índice de color se realizó a los ajíes charapita adaptando el método de Villar (2019) que consistió en el acondicionamiento para lectura directa en el colorímetro, realizando una molienda de la muestra mediante una licuadora. En la presente investigación la molienda se hizo de forma manual con ayuda de un mortero, se creó una pasta homogénea que se mantuvo estable en la superficie de la base de la placa Petri, cubriendo todo el espacio posible para su lectura. Previamente se calibró el equipo con el blanco de  $L^* = 96.7333$ ;  $a^* = -0.1207$ ;  $b^* = -0.2117$ ; con un índice de difusión D65 y una observación de  $2^\circ$  del espectrofotómetro CM-5. De cada muestra de ají se realizó la lectura de los parámetros al finalizar el tiempo de almacenamiento, obteniéndose el índice de color (IC) mediante la siguiente fórmula:

$$IC^* = \frac{a^* \times 1000}{L^* \times b^*}$$

De los cálculos obtenidos se clasificó:

- (-40 a -20) azul-violeta al verde profundo;
- (-20 a -2) del verde profundo al verde amarillento;
- (-2 a +2) representa el amarillo verdoso,
- (+2 a +20) desde amarillo pálido al naranja intenso,
- (+20 a +40) desde naranja intenso al rojo profundo.

### 3.4.2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LOS ENCURTIDOS

El análisis microbiológico es una prueba importante antes de realizar una evaluación sensorial, ya que es una forma de asegurar la inocuidad de las muestras. Aunque la prueba sensorial del estudio consistió en un test visual, se realizó el recuento de levaduras en la etapa inicial y final de las muestras con el fin de conocer el efecto que tiene la temperatura en el desarrollo de estos microorganismos. En la investigación sólo se realizó el recuento de levaduras, ya que es el único análisis recomendado por la norma técnica sanitaria para criterios de inocuidad y calidad NTS N° 071 - MINSA/DIGESA-V.01, que se hace para alimentos que son frutas y hortalizas en vinagre, aceite, salmuera o fermentadas. Esta norma establece que la presencia de hongos y levaduras no sea mayor a 100 ufc/g en encurtidos.

El recuento de levaduras se realizó al inicio para saber cuántas colonias empezaron antes del almacenamiento y al final para saber cuántas colonias terminaron. De esta forma, el método utilizado fue el recomendado por The International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMFS, 2000).

### 3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología experimental (ver Anexo 3) se dividió en cuatro etapas principales: elaboración de encurtidos de ají charapita, pruebas aceleradas, evaluación sensorial y caracterización final de los encurtidos.

#### 3.5.1. PROCESO DE ELABORACIÓN DE ENCURTIDO DE AJÍ CHARAPITA

La primera etapa fue la elaboración de los encurtidos con método directo de adición de vinagre y sal. La producción de los encurtidos se realizaba cada vez que se quería almacenarlos en la cámara climática. Las operaciones fueron las siguientes:

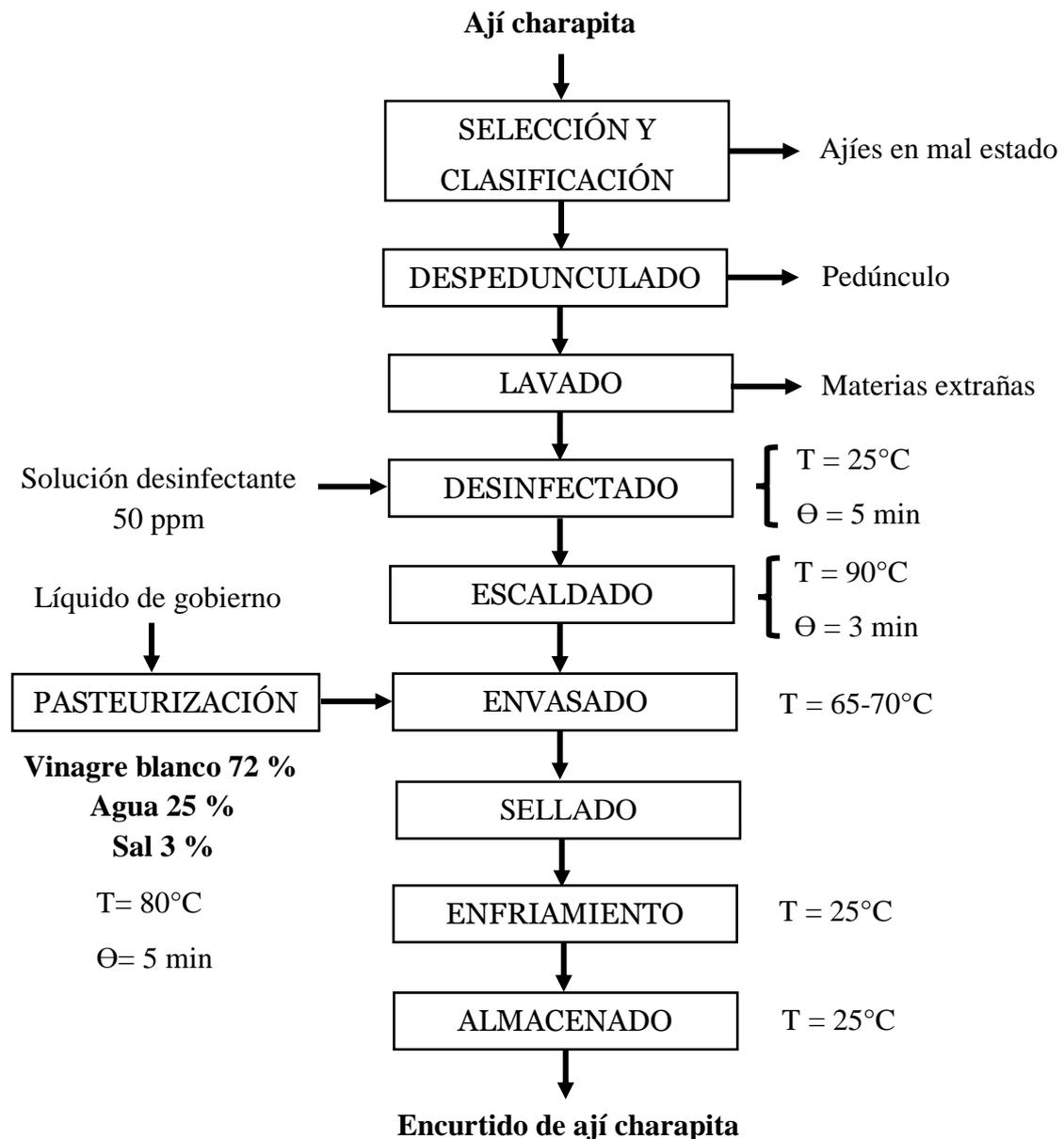
- **Pesado:** Se pesó la materia prima en una balanza digital y los insumos en una balanza de precisión.
- **Selección y clasificación:** Se seleccionó los ajíes de forma manual para separar los ajíes que han sufrido daños mecánicos y en descomposición por presencia de hongos.

Los ajíes ya seleccionados se clasificaron por tamaño aproximado de 10 mm de diámetro ecuatorial y axial, y grado de madurez de forma visual a una tonalidad naranja.

- **Despedunculado:** Se realizó la eliminación del pedúnculo de forma manual sin causar daño alguno a la pulpa, en esta operación se tuvo mucho cuidado de no alterar el tejido ya que podría provocar la salida de semillas y dificultar su manipulación.
- **Lavado:** Los ajíes que fueron despedunculados se sumergieron en una tina con agua potable para eliminar hojas pegadas, partículas extrañas y suciedad de la superficie.
- **Desinfectado:** Los ajíes limpios se sumergieron en una solución desinfectante (agua + hipoclorito de sodio) 50 ppm por 5 minutos con el fin de disminuir la carga microbiana. Terminado el tiempo se escurrió y oreó por 10 minutos.
- **Escaldado:** Los ajíes fueron sumergidos en agua caliente (90°C) por 3 minutos en ollas de acero inoxidable para inactivar enzimas propias del fruto como las peroxidasas y polifenoloxidasas, además de ablandar las membranas facilitando el proceso de ósmosis con el líquido de gobierno.
- **Pasteurización:** Mientras se esperaba el tiempo del escaldado, se procedió a elaborar el líquido de gobierno que consistió en 72 % vinagre, 25 % agua de mesa y 3 % sal. Se realizó la pasteurización del líquido de gobierno a 80°C por 5 minutos en una olla de acero inoxidable.
- **Envasado:** Luego de la operación anterior se procedió a llenar los ajíes en los envases correspondientes en una proporción de 60 % ají y 40 % de líquido de gobierno, el envasado se realizó en caliente (65-70°C) y cubriendo todo el espacio posible sin dejar aire en el interior con el fin de reducir el espacio de cabeza.
- **Sellado:** Luego de proceso de envasado, se realizó el sellado manual hermético propio de los envases mediante la ayuda del cierre zipper.

- **Enfriamiento:** Los envases fueron enfriados en un recipiente con agua fría hasta que los encurtidos lleguen a temperatura ambiente.
- **Almacenado:** Se procedió a empacar el producto final apropiadamente y se mantuvo en lugares frescos y secos a temperatura ambiente hasta el momento de su uso.

En la Figura 18 se muestra el diagrama de flujo para la elaboración de encurtido de ají charapita.



**Figura 18: Diagrama de flujo de la elaboración de encurtidos de ají charapita en bolsas Doypack y polietileno de baja densidad**

### 3.5.2. PRUEBAS ACELERADAS DE LOS ENCURTIDOS

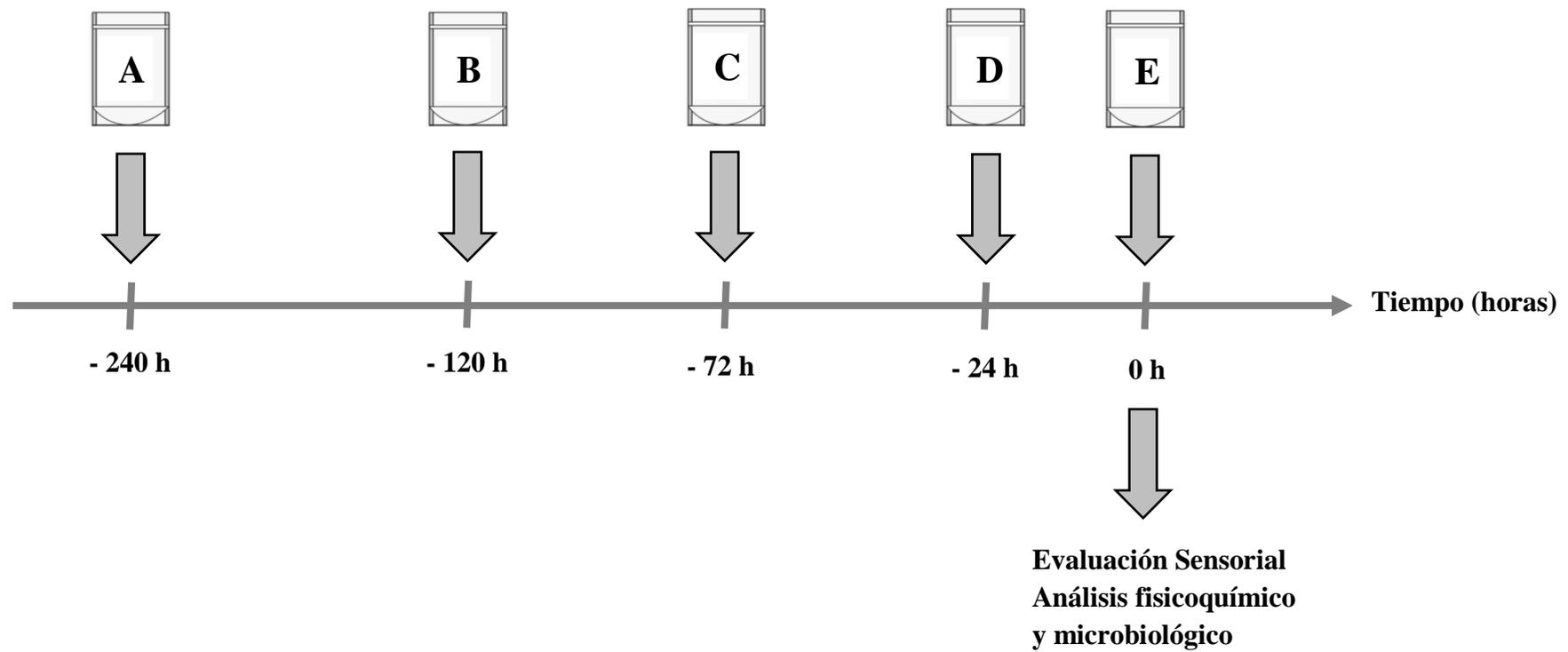
La segunda etapa fueron las pruebas aceleradas, la cual consistió en el almacenamiento de los encurtidos utilizando cámaras climáticas a 28°C, 30°C, 35°C y 40°C con 80 % de humedad relativa (H.R). Para esta etapa se utilizó un diseño de almacenamiento de reversa escalonado para cada temperatura (Figura 19); es decir, se seleccionó un día para la evaluación sensorial y como referencia a este día las muestras se fueron almacenando previamente de acuerdo al plan de almacenamiento establecido para cada temperatura. Se utilizó este método en lugar de un almacenamiento convencional por la optimización de recursos que genera al realizar la evaluación sensorial de todas las muestras en un solo día.

Las ventajas de utilizar este diseño fueron: no necesitar un almacenamiento control, optimizar recursos y encontrar disponible todas las muestras de cada temperatura en un solo día (sensorial). En ese sentido, todas las muestras fueron evaluadas por un mismo grupo de panelistas por lo que cada persona mantuvo un mismo criterio de evaluación, evitando de esta manera la imprecisión de respuestas, ya que cada consumidor tiene una percepción diferente al momento de aceptar o rechazar un producto alimenticio. Las desventajas fueron: la complejidad de cumplir exactamente con las horas del plan de almacenamiento y la variabilidad generada al utilizar diferentes lotes de ajíes en la elaboración de los encurtidos.

Ejemplo de un diseño reverso escalonado:

- Objeto de estudio: encurtido de ají charapita envasado en bolsas laminadas
- Condiciones de ensayo: 40°C y 80 % humedad relativa
- Tiempo máximo de almacenamiento: 240 h
- Tiempo de almacenamiento de cada bolsa: 0 h, 24 h, 72 h, 120 h, 240 h
- Peso aproximado de cada bolsa: 500 g
- Almacenamiento control: no necesita
- Fin del ensayo: día del sensorial

En la Figura 19 se muestra como ejemplo gráfico el diseño reverso escalonado para las muestras que fueron almacenados a la temperatura de 40°C y 80 % H.R en envase laminado; siendo A = 240 h, B = 120 h, C = 72 h, D = 24 h y E = 0 h.

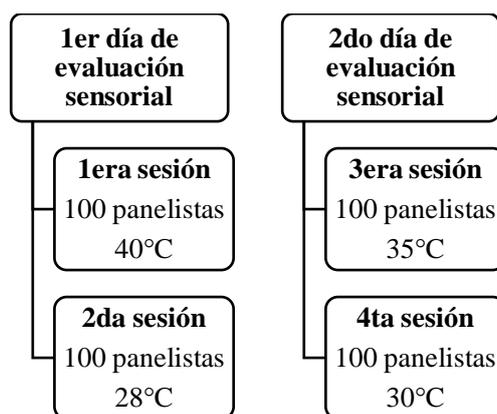


**Figura 19: Ejemplo de diseño reverso escalonado para estimar la vida útil de encurtidos de ají charapita en envase laminado a 40°C**

### 3.5.3. EVALUACIÓN SENSORIAL

La tercera etapa consistió en la evaluación sensorial de todas las muestras obtenidas de las pruebas aceleradas mediante una prueba de aceptación. Se utilizó el laboratorio de evaluación sensorial, trabajando con todas consideraciones necesarias como: luz blanca, flujo de aire, grifo de agua, cabinas separadas y una habitación anexa donde se acondicionó los encurtidos. Todo el sensorial se realizó en 4 sesiones para 2 días diferentes (los días no fueron cercanos), teniendo 2 sesiones de ensayo (mañana y tarde) por cada día, de modo que se evaluó todas las muestras de cada temperatura por cada sesión. De esta forma, se reclutó 100 panelistas no entrenados por cada sesión de evaluación, entre estudiantes y trabajadores de la Universidad Nacional Agraria La Molina con edad de 18 a 40 años aproximadamente sin importar el género, pero que sean consumidores habituales de cualquier variedad de ají.

Se le entregó al panelista una hoja de evaluación sensorial (ver Anexo 4), así como todas las muestras de encurtido de una temperatura de trabajo, estas fueron entregadas en vasos descartables de forma aleatoria y con codificaciones diferentes para evitar patrones en las respuestas. Antes de realizar el test se les mencionó a los consumidores de forma clara que el atributo principal que debían considerar sería el color de los ajíes, ya que en cualquier variedad de ají y principalmente en el charapita, es el atributo más rápido en sufrir cambios y perder su funcionalidad a lo largo del tiempo. Por lo tanto, el color fue la característica principal valorada en la investigación y esta prueba sólo consistió en un argumento visual. Finalmente, la pregunta que contestaron fue la aptitud para el consumo: ¿Usted consumiría este producto? ¿Sí o No? y los resultados obtenidos se recopilaron en una hoja Excel de forma ordenada. En la Figura 20 se muestra la estructura de la evaluación sensorial.



**Figura 20: Estructura de la evaluación sensorial**

### **3.5.4. CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA**

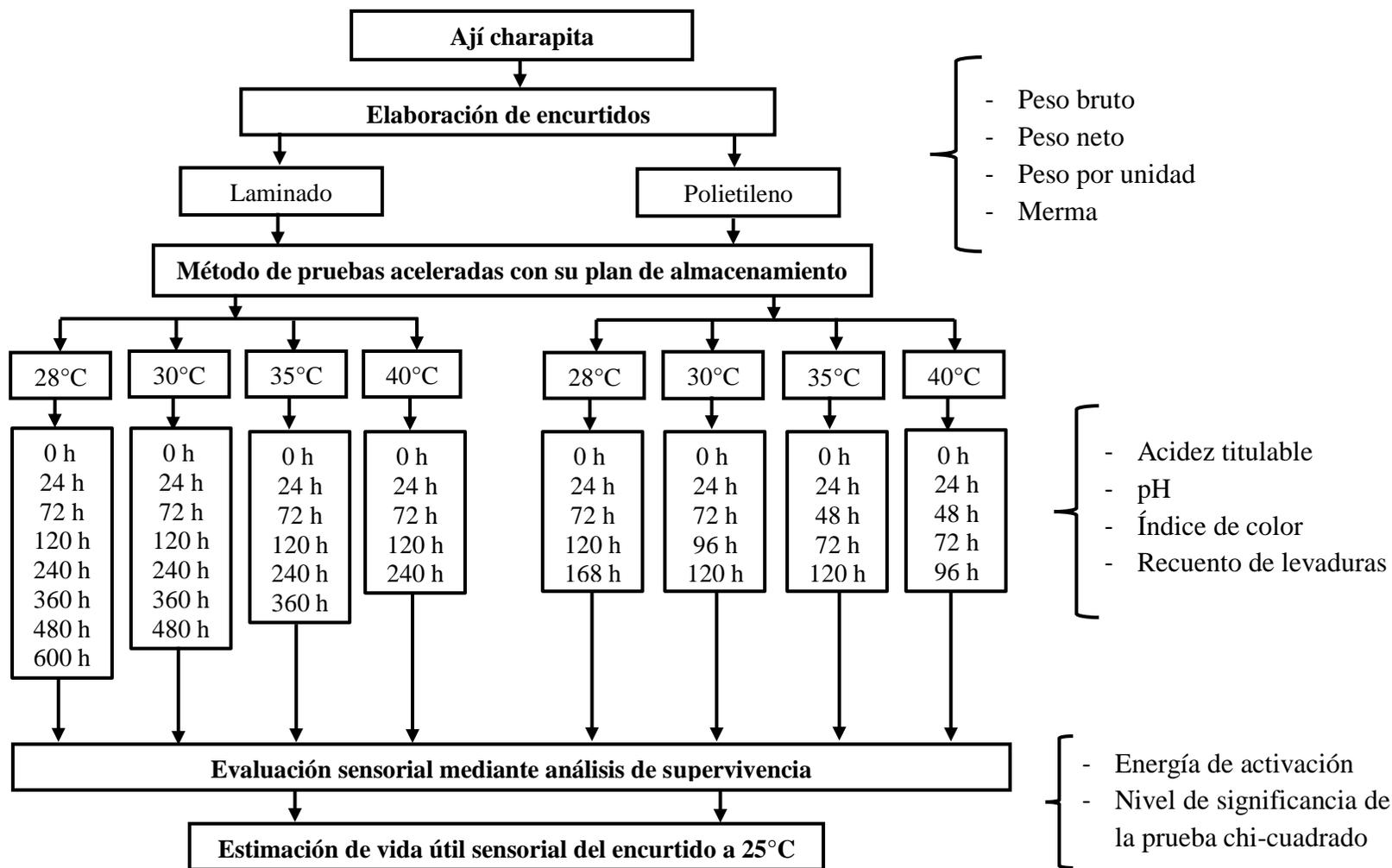
En la cuarta etapa se realizó una caracterización fisicoquímica y microbiológica a las muestras de encurtido con el máximo tiempo de almacenamiento de cada temperatura de trabajo; es decir, para las muestras del envase laminado: 600 h, 480 h, 360 h y 240 h, y para las muestras de polietileno: 168 h, 120 h, 120 h y 96 h de las temperaturas 28°C, 30°C, 35°C y 40°C, respectivamente. El análisis fisicoquímico consistió en la medida de acidez titulable del líquido de gobierno, pH e índice de color de los ajíes charapita y para el análisis microbiológico consistió en un recuento de levaduras al inicio y al final del almacenamiento.

### **3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL**

La investigación de la vida útil sensorial de los encurtidos se desarrolló siguiendo un plan de almacenamiento para cada temperatura de trabajo, basado en un tiempo mínimo transcurrido que la muestra debe experimentar hasta que ocurra el evento de interés (rechazo del consumidor) cuando exista un cambio perceptible en el atributo de calidad escogido (color). Las temperaturas y la humedad relativa propuestas se basaron en las condiciones climatológicas de los lugares donde se encontrarían el posible público objetivo del producto, los cuales fueron la ciudad de Pucallpa y Lima. Así mismo, encontrar los tiempos de almacenamiento de los encurtidos de ají charapita para cada temperatura de trabajo fue una parte importante del estudio de análisis de supervivencia, esto se realizó para evitar pérdidas en materia prima, tiempo y energía.

Todas las respuestas obtenidas de la evaluación sensorial, en el momento donde el consumidor rechaza el encurtido dependen de los tiempos de almacenamiento en que éste evalúa el producto, esto da como resultado los tiempos censurados del estudio que son el objeto de interés para la estimación de la vida útil sensorial. La codificación tomada en este estudio fue: 0, 2, 3 para la censura por derecha, izquierda e intervalo, respectivamente.

Las variables independientes fueron el tipo de envase y la temperatura de almacenamiento (°C), así como variable dependiente el análisis sensorial de los encurtidos de ají charapita. En la Figura 21 se muestra el diseño experimental para estimar la vida útil sensorial de los encurtidos de ají charapita en los envases: laminado y polietileno de baja densidad.



**Figura 21: Diseño experimental de la investigación de vida útil sensorial de los encurtidos de ají charapita**

### 3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico consistió en la estimación de la vida útil de los encurtidos de ají charapita para cada temperatura de almacenamiento establecida (28°C, 30°C, 35°C y 40°C) y a temperatura de 25°C, para esto se empleó el *Software R-Statistical 64bit* (versión 4.1.2 CRAN) (Ver Anexo 5) y el *Software Microsoft Excel* (versión 2010 MS). Para la estimación de la vida útil en las temperaturas establecidas se utilizó la distribución de Weibull de la Ecuación (5), como modelo paramétrico escogido producto de maximizar la función de verosimilitud, lo que sirvió para calcular la vida útil de los encurtidos a las probabilidades de rechazo de los consumidores de 10, 25 y 50 % con intervalos de confianza (IC) del 95 %. Por otra parte, para encontrar los valores de vida a útil a 25°C de los encurtidos en envase laminado y polietileno de baja densidad se utilizó la función de falla acelerada de la Ecuación (16) y el modelo Arrhenius-Weibull de covariables fijas (W) de la Ecuación (23) formulada por Meeker et al. (2022).

En el procesamiento de los datos de la evaluación sensorial se utilizó el “*script*” o código fuente del método de análisis de supervivencia (ver Anexo 6) y del modelo Arrhenius-Weibull (ver Anexo 7). Para obtener los parámetros mu ( $\mu$ ) y sigma ( $\sigma$ ) de la distribución de Weibull y los parámetros beta 0 ( $\beta_0$ ), beta 1 ( $\beta_1$ ) y sigma ( $\sigma$ ) del modelo Arrhenius-Weibull, se procedió a seguir todos los pasos y comandos específicos del programa R detallados en el Anexo 8. También, se graficó la curva de probabilidad de rechazo en función del tiempo de almacenamiento para cada temperatura establecida con la ayuda de los parámetros alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ) encontrados de las Ecuaciones (7) y (8). Finalmente, se calculó la energía de activación y el nivel de significancia de la prueba chi-cuadrado para ambos envases (ver Anexo 9).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ELABORACIÓN DE LOS ENCURTIDOS

En la Tabla 5 se muestra los resultados obtenidos en la elaboración de los encurtidos de ají charapita en cada plan de almacenamiento establecido.

**Tabla 5: Unidades obtenidas en la elaboración de encurtidos de ají charapita**

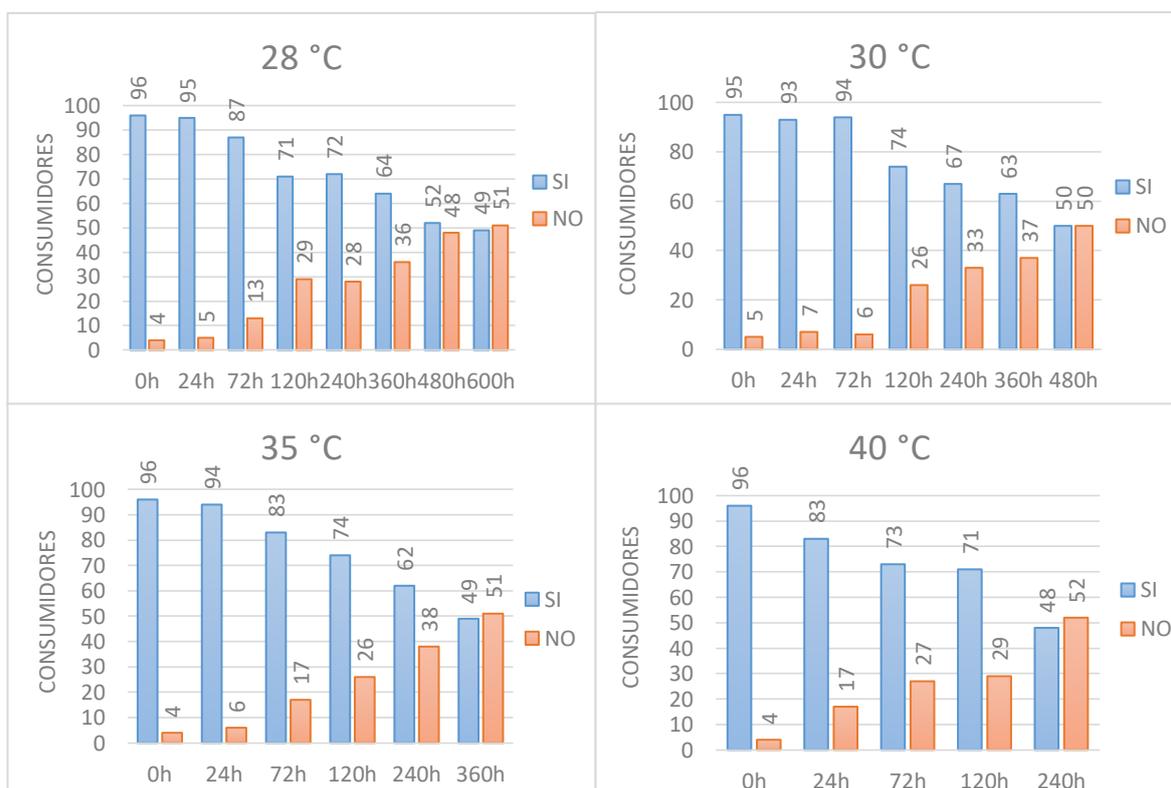
Envase	Temperatura almacenamiento	Unidades	Peso de Ají Total	Merma (Ají + Pedúnculo)	Peso Bruto Producto Total	Peso Neto Producto Total
Laminado	28°C	8	2640 g	240 g	4400 g	4373.6 g
	30°C	7	2310 g	210 g	3850 g	3826.9 g
	35°C	6	1980 g	180 g	3300 g	3280.2 g
	40°C	5	1650 g	150 g	2750 g	2733.5 g
Polietileno	28°C	5	1450 g	150 g	2550 g	2497.5 g
	30°C	5	1450 g	150 g	2550 g	2497.5 g
	35°C	5	1450 g	150 g	2550 g	2497.5 g
	40°C	5	1450 g	150 g	2550 g	2497.5 g

De la Tabla 5 se puede observar el total de unidades de encurtidos que se elaboraron para el almacenamiento con las pruebas aceleradas, teniendo un peso bruto aproximado por unidad de 550 g y 511 g para el envase laminado y polietileno, respectivamente. Así mismo, se obtuvo el peso bruto y peso neto total para cada plan de almacenamiento utilizado en toda la experimentación, sabiendo que el peso del envase laminado y polietileno fueron 3.3 g y 0.5 g, respectivamente. Por otra parte, la merma total obtenida entre ajíes en mal estado y pedúnculos, en promedio fue de 30 g por unidad para toda la elaboración, dando como resultado el uso de ají charapita aproximado de 8.58 Kg y 5.8 Kg para los envases laminado y polietileno de baja densidad, respectivamente.

## 4.2. VIDA ÚTIL DE LOS ENCURTIDOS DE AJÍ CHARAPITA MEDIANTE ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA

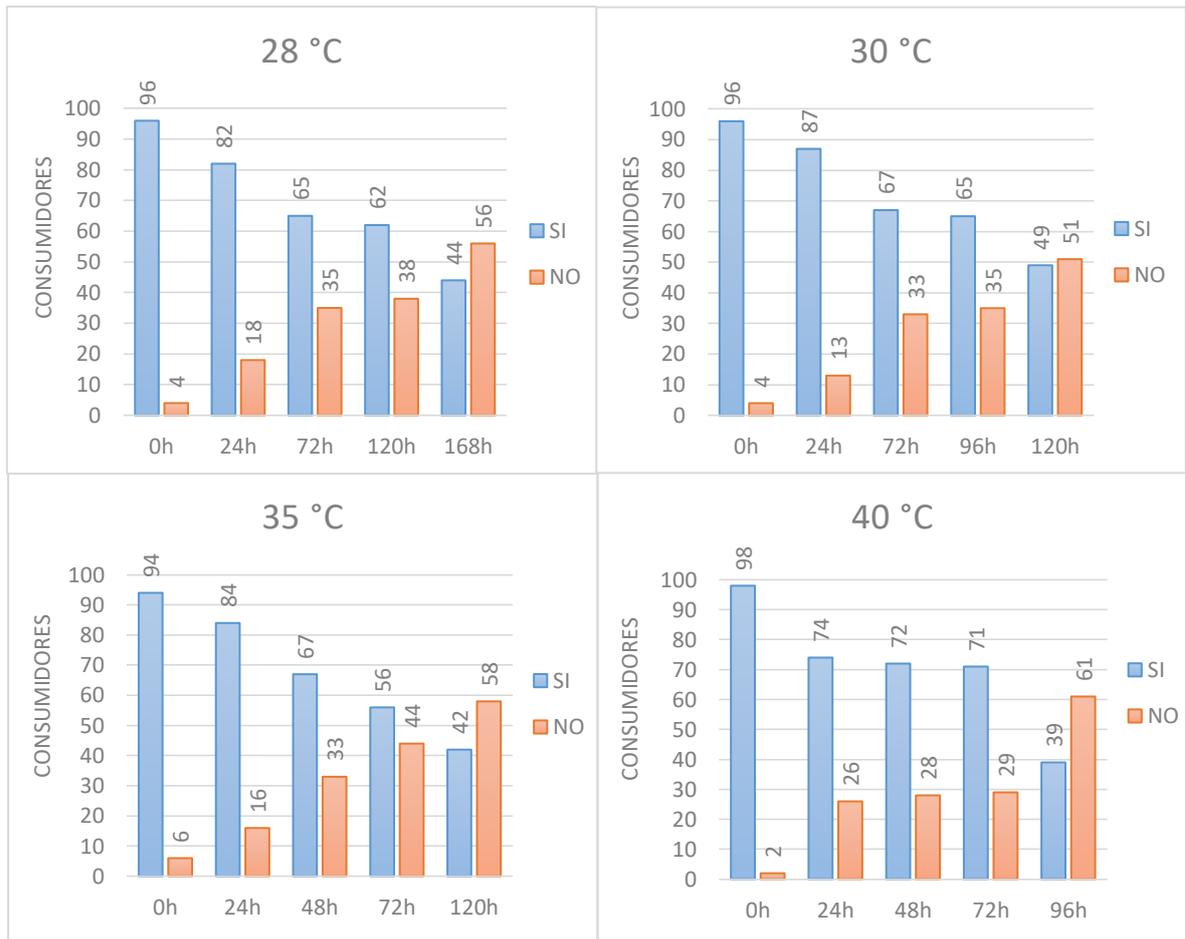
### 4.2.1. EVALUACIÓN SENSORIAL EN BASE AL COLOR DEL AJÍ CHARAPITA

En las Figura 22 se puede observar de forma resumida las respuestas obtenidas para cada temperatura de trabajo en el envase laminado, considerándose la apariencia (color) del ají charapita como el principal factor de respuesta que el consumidor valoró para rechazar el producto. En los Anexos 10 y 11 se encuentran los datos completos de la prueba sensorial que posteriormente se utilizó para realizar el modelamiento de la distribución de Weibull.



**Figura 22: Respuestas de la evaluación sensorial para el envase laminado**

En la Figura 23 se puede observar de forma resumida las respuestas obtenidas para cada temperatura de trabajo en el envase de polietileno de baja densidad, considerándose también la apariencia (color) del ají charapita como el principal factor de respuesta que el consumidor valoró para rechazar el producto. En los Anexos 12 y 13 se encuentra los datos completos y detallados de la prueba sensorial que posteriormente se utilizó para realizar el modelamiento de la distribución de Weibull.



**Figura 23: Respuestas de la evaluación sensorial para el envase de polietileno de baja densidad**

De las figuras anteriores se puede observar que fueron 100 panelistas no entrenados quienes realizaron la prueba sensorial para cada muestra analizada por temperatura de trabajo en los envases laminados y polietileno de baja densidad. Stone & Sidel (2004) recomiendan entre 25 a 50 sujetos por muestra para las pruebas sensoriales en laboratorio, así como Moskowitz (1997) argumentó que de 40 a 50 panelistas era lo indispensable para la conocer la aceptabilidad promedio. Así mismo, Santa Cruz et al. (2005) mencionan que la cantidad de evaluadores para una prueba sensorial de tipo afectiva va desde 50 a 400 respuestas para obtener una buena información sobre los atributos sensoriales del producto.

Hough et al. (2007) encontraron mediante cálculos matemáticos que 120 panelistas es el estándar recomendado para una evaluación sensorial basado en la estadística de supervivencia. En esta investigación se utilizó las respuestas de 100 panelistas para realizar la prueba sensorial porque es un valor muy cercano a lo recomendado por este último autor.

Además, no existen criterios sistemáticos o una norma en específica para elegir una cantidad adecuada de consumidores, por lo que dichas recomendaciones varían de forma general para cada estudio. Sin embargo, se debe tener en cuenta que a mayor número de panelistas utilizados el error estándar disminuye, es por ello que lo adecuado sería elegir un número considerable de respuestas que sean cien o más para tener la confiabilidad de que los valores estimados de vida útil se encuentran dentro de sus intervalos de confianza, lo que indicaría una correcta recopilación del conjunto de respuestas de los panelistas sobre el encurtido.

Por otra parte, de las Figuras 22 y 23 se puede observar que el número de rechazos del producto para los últimos tiempos de almacenamiento de cada temperatura es mayor o igual al 50 % del total de respuestas de los evaluadores. Gacula & Kubala (1975) indican que el percentil 50 (vida nominal) es una buena estimación del tiempo medio hasta la falla del producto cuando es una distribución simétrica (no sesgada) ya que coincide con la media, pero si la distribución es de Weibull la que generalmente está sesgada, la media no coincide con el percentil 50. En esta investigación por cuestiones de proximidad con el percentil de la vida nominal se tomó como vida útil el percentil 50.

Garitta et al. (2005) recomiendan el uso del 50 % o mediana, para saber cuánto tiempo se puede almacenar un producto para que menos del 50 % de los consumidores rechacen el alimento en estudio. Por otra parte, también mencionan que el uso del percentil 25 se puede utilizar para referenciar la desigualdad en días de almacenamiento, esto si sólo se acepta que el 25 % de los consumidores rechace el alimento al término de su vida útil. Así mismo, Hough (2010) indica que el rango de probabilidad de rechazo de 25 % a 50 % están dentro de la normas internacionales estándares de análisis sensorial.

Además, se puede observar también que a pesar de que la muestra 0 h (reciente o fresca) no fue almacenada, existe un pequeño grupo de consumidores que han rechazado el encurtido. Hough et al. (2003) mencionan que si un consumidor rechaza la muestra fresca podría deberse a que fue reclutado por error o no comprende la prueba, por lo que no consideraron sus resultados en el estudio. Así mismo, Ramírez et al. (2001) reportaron que 9 de los 60 panelistas que utilizaron para la vida útil de aceite de girasol, prefirieron las muestras almacenadas que el producto fresco por lo que también no se consideraron en los resultados. Por lo tanto, en este trabajo de investigación todos los datos de la evaluación sensorial que

fueron inconsistentes (rechazo en 0 h) se eliminaron, este proceso lo realizó automáticamente el programa R al momento de realizar el análisis estadístico.

#### 4.2.2. OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO DE WEIBULL

En la Tabla 6 se muestran los parámetros  $\mu$  ( $\mu$ ) y  $\sigma$  ( $\sigma$ ) correspondientes de la distribución de Weibull, obtenidos del programa estadístico R mediante sus respectivos comandos de programación, en cada temperatura de trabajo para ambos envases. Estos parámetros fueron hallados producto de ajustar los datos de supervivencia de la evaluación sensorial a dicho modelo. Todos los valores de la media en cada temperatura están determinadas a un intervalo de confianza del 95 %.

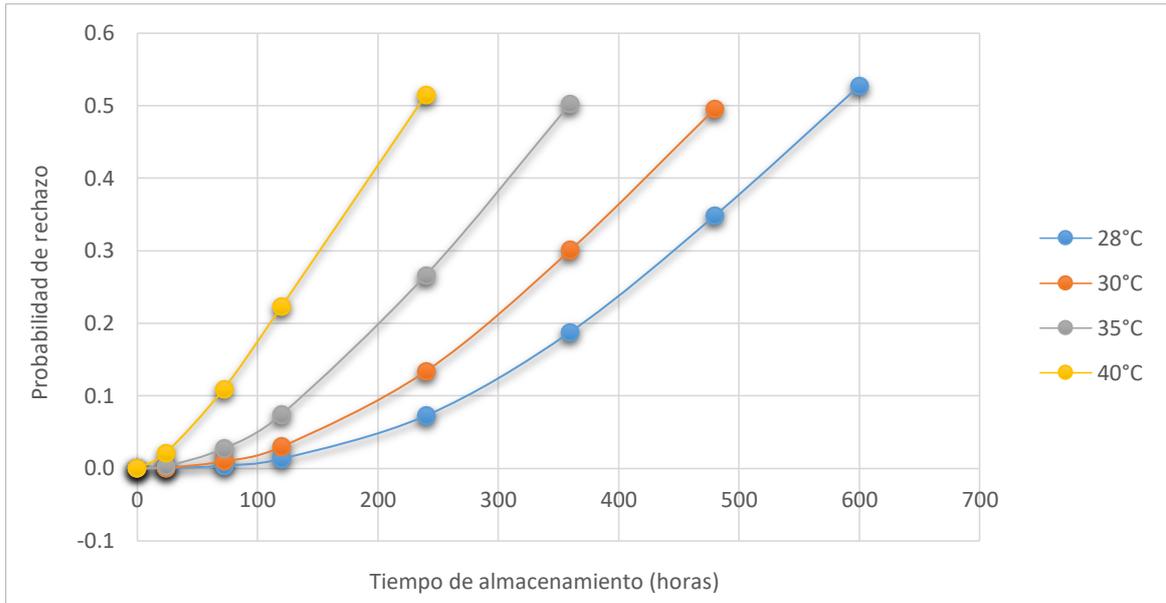
**Tabla 6: Parámetros  $\mu$  y  $\sigma$  de la distribución de Weibull de cada temperatura de almacenamiento en los envases laminado y polietileno de baja densidad**

Envase	Temperatura de almacenamiento (°C)	$\mu$ (95 % IC)	$\sigma$ (95 % IC)
Laminado	28	6.51 ± 0.13	0.40 ± 0.15
Polietileno		5.27 ± 0.17	0.58 ± 0.19
Laminado	30	6.34 ± 0.15	0.44 ± 0.15
Polietileno		5.00 ± 0.18	0.56 ± 0.17
Laminado	35	6.06 ± 0.16	0.50 ± 0.16
Polietileno		4.88 ± 0.18	0.63 ± 0.18
Laminado	40	5.69 ± 0.21	0.66 ± 0.20
Polietileno		4.63 ± 0.18	0.67 ± 0.20

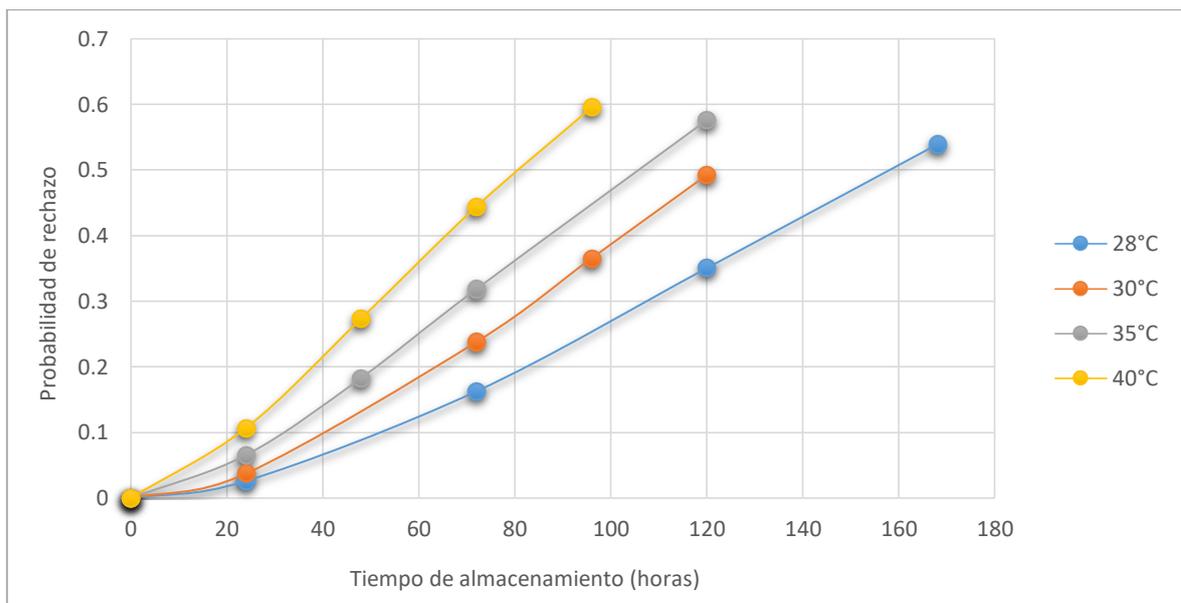
IC – Intervalo de confianza a 95 %

Con los parámetros  $\mu$  y  $\sigma$  encontrados, y mediante la expresión de la Ecuación (5) se pudo graficar la curva de probabilidad de rechazo en función del tiempo de almacenamiento de cada temperatura. Se puede observar que los valores  $\mu$  ( $\mu$ ) disminuyen con el aumento de la temperatura y son valores menores en los envases de polietileno de baja densidad que en el de envase laminado. Esto sucede porque este parámetro está relacionado directamente con el tiempo de vida en horas, y puede variar con las temperaturas altas y el tipo de envase porque son factores que disminuyen la vida útil de los encurtidos.

En la Figuras 24 y 25, se observa el comportamiento de la función de rechazo de los consumidores en cada temperatura de almacenamiento de los encurtidos para los envases laminado y polietileno de baja densidad, respectivamente.



**Figura 24: Probabilidad de rechazo del consumidor frente al tiempo de almacenamiento (h) para cada temperatura de trabajo en envase laminado**



**Figura 25: Probabilidad de rechazo del consumidor frente al tiempo de almacenamiento (h) para cada temperatura de trabajo en envase de polietileno de baja densidad**

Se aplicaron diferentes modelos en base a los datos experimentales, siendo el log-normal y Weibull los que mejor se ajustaban con valores muy similares. Sin embargo, se escogió el modelo de Weibull por su simplicidad y por ser el más usado en estimaciones de vida útil, encontrándose todos los parámetros  $\mu$  ( $\mu$ ) y  $\sigma$  ( $\sigma$ ) de cada temperatura de trabajo.

De forma similar Garitta et al. (2005) eligieron el modelo log-normal por simplicidad en lugar del modelo log logístico en base a sus datos experimentales de muestras de yogur, a pesar de que ambos se ajustaban muy bien, obteniéndose los parámetros del modelo producto de maximizar la función de verosimilitud. En ese sentido, con la ayuda de los parámetros del modelo de Weibull se graficó la probabilidad de rechazo en función de la temperatura de almacenamiento para cada envase, tal como se muestran en las Figuras 24 y 25.

Con los valores encontrados anteriormente, y las Ecuaciones (7) y (8) se pudo calcular los parámetros de forma ( $\beta$ ) y escala ( $\alpha$ ) de la función densidad, para determinar la confiabilidad del ajuste del modelo de Weibull. En la Tabla 7 se muestran los valores de los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  obtenidos para los envases laminado y polietileno de baja densidad en cada temperatura establecida.

**Tabla 7: Parámetros  $\beta$  y  $\alpha$  para cada temperatura de almacenamiento de los encurtidos en envase laminado y polietileno de baja densidad**

Parámetro	Laminado				Polietileno			
	28°C	30°C	35°C	40°C	28°C	30°C	35°C	40°C
$\beta$ (s/u)	2.51	2.25	2.01	1.52	1.74	1.79	1.58	1.50
$\alpha$ (h)	673.07	568.04	430.29	296.78	194.62	149.06	132.19	102.63

$\beta$ - parámetro de forma;  $\alpha$ - parámetro de escala

Se puede observar que todos los valores del parámetro de forma ( $\beta$ ) en el envase laminado como en el de polietileno de baja densidad son mayores que 1. Según Salazar et al. (2017) sostienen que la velocidad de falla está sujeta al desgaste, envejecimiento u obsolescencia que sufre el objeto en estudio a lo largo del tiempo.

Así mismo, Kantar & Şenoğlu (2008) mencionan que los parámetros de forma y escala (o vida característica) son los que se encargan de mostrar la forma y la extensibilidad de la

distribución de falla del producto de la función densidad, respectivamente, y que la distribución toma una forma de J invertida cuando el parámetro de forma es menor que 1, una forma exponencial si el valor es igual a 1 y forma de campana cuando es mayor que 1.

Los parámetros de forma ( $\beta$ ) para las temperaturas de 28°C, 30°C y 35°C de la distribución de Weibull en el envase laminado, son los únicos en que obtuvieron valores mayores a 2, lo que indica que se distribuyen de una forma diferente con respecto a los demás valores. Según Gacula & Kubala (1975) los valores  $\beta$  por encima de 2 y menores a 5 hace que la distribución se asemeje a una curva normal (forma acampanada).

Cardelli & Labuza (2001) aplicaron el análisis de riegos de Weibull para estudio de vida útil de café tostado y molido obteniendo un parámetro de forma  $\beta = 3.4$ , cuyo valor consideran que es simétrico (no sesgado) en el intervalo  $2 < \beta < 4$  considerados como óptimos para estudio de vida útil en alimentos. Así mismo, Keklik et al. (2017) obtuvieron valores de  $\beta = 2.84$  y  $\beta = 2.58$  en estudios de vida útil de encurtidos de plantas “pezik” (*Beta vulgaris* L. var. *rapa*) considerándolos como una distribución no sesgada.

Por lo tanto, los parámetros obtenidos  $\beta < 2$  se encuentran en una distribución sesgada o asimétrica siguiendo una tendencia similar a la exponencial ( $\beta = 1$ ), lo que podría interpretarse como una tasa de falla rápida de los encurtidos o mayor rechazo de los consumidores en tiempos cortos de almacenamiento para los envases de polietileno de baja densidad y en la temperatura más alta (40°C) del envase laminado.

Esto puede ocurrir debido a que los ajíes presentan componentes sensibles tales como los carotenoides que se sufren oxidación y cuya estructura se altera si el medio donde el alimento que está almacenado presenta temperaturas altas o un medio con agentes oxidantes como el oxígeno. Meléndez-Martínez et al. (2004) mencionan que la pérdida de la funcionalidad de los carotenoides ocasiona una pérdida del valor nutritivo y características organolépticas, lo que conlleva a una decoloración del alimento y la severidad de la despigmentación dependerá principalmente del oxígeno molecular del medio y de la energía suministrada en forma de luz o calor.

### 4.2.3. ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL DE LOS ENCURTIDOS EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA

En las Tablas 8 y 9 se observa los tiempos de vida útil con intervalos de confianza a 95 %, encontrados por el programa estadístico R mediante sus respectivos comandos de programación, para cada temperatura de trabajo y porcentaje de rechazo en el envase laminado y de polietileno de baja densidad.

**Tabla 8: Tiempo de vida útil (horas) del encurtido en envase laminado para diferentes porcentajes de rechazo en cada temperatura de almacenamiento**

Porcentaje de rechazo	Temperatura de almacenamiento			
	28°C	30°C	35°C	40°C
10	274.20 ± 81.00	208.99 ± 60.36	140.06 ± 45.50	67.51 ± 28.09
25	409.39 ± 68.64	326.56 ± 55.26	231.15 ± 43.92	130.74 ± 32.25
50	581.49 ± 65.30	482.67 ± 62.61	358.40 ± 51.59	233.18 ± 43.82

IC- Intervalo de confianza a 95 %

**Tabla 9: Tiempo de vida útil (horas) del encurtido en envase de polietileno para diferentes porcentajes de rechazo en cada temperatura de almacenamiento**

Porcentaje de rechazo	Temperatura de almacenamiento			
	28°C	30°C	35°C	40°C
10	53.33 ± 20.71	42.40 ± 14.47	31.75 ± 12.49	22.91 ± 10.27
25	95.04 ± 21.51	74.32 ± 15.04	60.01 ± 14.31	44.74 ± 11.85
50	157.62 ± 24.99	121.46 ± 19.62	104.78 ± 17.97	80.39 ± 13.99

IC- Intervalo de confianza a 95 %

De las tablas anteriores se puede observar que la vida útil de los encurtidos disminuye notablemente cuando las temperaturas son mayores, lo que quiere decir que la temperatura tiene un efecto negativo en la aceptación del producto por parte de los consumidores. Esto

podría deberse a que los carotenoides del ají charapita son sensibles a temperaturas altas y a tiempos prolongados, la cual estuvo sometida en diversas etapas de la experimentación.

Una de las causas que podría haber iniciado la degradación de los carotenoides es el escaldado que se realizó al ají, esto coincide con Zhang et al. (2021) quienes mencionan que el tratamiento térmico puede provocar la ruptura de las paredes de las células la cual podría liberar los carotenoides que en conjunto con el calor y el oxígeno conlleva a su oxidación. Fratianni et al. (2017) indican que la naturaleza altamente insaturada de los carotenoides lo hace susceptible al daño durante el procesamiento y almacenamiento debido a injerencias de la temperatura y disponibilidad de oxígeno. Así mismo, Xianquan et al. (2005) observaron que la principal aceleración de las degradaciones de los carotenoides durante el almacenamiento se debe a las altas temperaturas, oxígeno y exposición a la luz.

Por otra parte, se puede observar que hay prueba estadística suficiente a un intervalo de confianza del 95 %, para afirmar que existe diferencias significativas en la vida útil de los encurtidos que fueron envasados en el empaque laminado con respecto al empaque de polietileno de baja densidad. De igual forma, se puede notar que el alimento tuvo mayor tiempo de vida útil en el laminado, siendo casi de 3 a 4 veces más el tiempo obtenido para cada temperatura de almacenamiento. Esto sucedió debido a que los ajíes resistieron el cambio de la coloración porque el empaque ofrece mejor barrera al oxígeno; sin embargo, de igual forma los consumidores rechazaron (falla) el producto cuando percibieron el cambio en posteriores horas de almacenamiento, poniendo fin a la vida útil del producto.

La conservación de los ajíes en este material pudo ocurrir debido a que el envase laminado Doypack al estar compuesto por una capa de polietilentereftalato (PET) y una de polietileno de alta densidad (HDPE) mejora la barrera al oxígeno en la interacción envase-ambiente. En cambio, los encurtidos con el envase de polietileno de baja densidad sufrieron un rápido oscurecimiento, debido a que este material no protege adecuadamente el alimento por factores como la permeabilidad al oxígeno.

Esparza (2008) estimó que la velocidad de transmisión del oxígeno (OTR) en el polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietilentereftalato (PET) es de 8500, 1840 y 79  $\text{cm}^3/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ , respectivamente. Es decir, en el envase laminado la transmisión y concentración de oxígeno en su interior durante el almacenamiento es mucho

menor que en comparación del polietileno de baja densidad, es por ello que este autor considera que el PET es un material de media barrera contra el oxígeno, y es muy utilizado en películas junto con otras capas para otorgar mayor protección a los alimentos envasados que sufren deterioro por oxidación y que están en contacto directo a temperaturas altas.

En la guía de envases y embalajes reportada por el Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR, 2009) menciona que el polietileno de alta densidad es un material rígido que soporta altas temperaturas y tiene una permeabilidad de los gases mucho menor que el de baja densidad. Según Huanchi (2013) el polietileno de baja densidad (LDPE) es permeable al oxígeno (muy alta) por lo que la oxidación es un problema con este material.

También, se observa que la vida útil de los encurtidos en envases laminados son mucho más bajos conforme se aumenta la temperatura. A pesar de las capas (HDPE + PET) influyen en la conservación e indirectamente en la aceptación del consumidor, las elevadas temperaturas de almacenamiento a la que está sometida el alimento no permite que el envase desarrolle completamente su función de protección del encurtido. Es por ello que, se considera que la temperatura es uno de los principales agentes de alteración en el envase, esto coincide con Duncan et al. (2005) quienes mencionan que uno de los factores que más influye en la permeabilidad de los gases y líquidos es la temperatura, ya que esta puede incrementar la aceleración molecular, el cambio en la estructura del polímero y cambio en la solubilidad.

### **4.3. VIDA ÚTIL A TEMPERATURA ARBITRARIA**

#### **4.3.1. PARÁMETROS DEL MODELO ARRHENIUS-WEIBULL**

De los parámetros obtenidos del análisis de supervivencia para cada temperatura trabajada se procedió a obtener los valores beta 0, sigma y beta 1 con ayuda del programa estadístico R, estos nuevos parámetros son valores adimensionales correspondientes al modelo Arrhenius-Weibull de la Ecuación (23); así como, la energía de activación ( $E_a$ ) y la prueba chi-cuadrado para cada envase. La obtención de estos nuevos parámetros permitió encontrar la vida útil sensorial de los encurtidos a una temperatura arbitraria de 25°C.

En la Tabla 10 se muestra los parámetros obtenidos del modelo Arrhenius-Weibull, obtenidos mediante el programa estadístico R para el envase laminado.

**Tabla 10: Valores estimados de los parámetros del modelo de Arrhenius-Weibull para el envase laminado**

<b>Valor</b>	<b>beta 0</b>	<b>sigma</b>	<b>beta 1</b>
<b>Estimado</b>	-16.99	0.51	7090.66
<b>Límite bajo</b>	-21.82	0.43	5611.72
<b>Límite alto</b>	-12.16	0.60	8569.60

En la Tabla 11 se muestra los parámetros obtenidos del modelo Arrhenius-Weibull, obtenidos mediante el programa estadístico R para el envase laminado.

**Tabla 11: Valores estimados de los parámetros del modelo de Arrhenius-Weibull para el envase de polietileno de baja densidad**

<b>Valor</b>	<b>beta 0</b>	<b>sigma</b>	<b>beta 1</b>
<b>Estimado</b>	-10.88	0.62	4852.70
<b>Límite bajo</b>	-16.31	0.53	3187.60
<b>Límite alto</b>	-5.45	0.72	6517.80

En las Tablas 10 y 11 se muestran los valores de los parámetros obtenidos del modelo Arrhenius-Weibull o también llamado de covariables fijas, donde el valor estimado de beta 1 es la relación entre la energía de activación ( $E_a$ ) y la constante universal de los gases ideales ( $R$ ) (8.314 J/mol.K). Entonces, con ayuda de los valores anteriores se pudo obtener la energía de activación en cada envase a través de un cálculo matemático simple.

#### 4.3.2. ENERGÍA DE ACTIVACIÓN DE LAS PRUEBA ACELERADAS

En la Tabla 12 se muestra los valores obtenidos de energía de activación para cada envase.

**Tabla 12: Energía de activación en kJ/mol de las pruebas aceleradas**

<b>Envase laminado</b>	<b>Envase polietileno</b>
58.952 ± 12.296	40.345 ± 13.844

Los valores de energía de activación obtenidos se encuentran dentro del rango establecido por Ramallo et al. (2001) quienes mencionan que para productos alimentarios el valor de la energía de activación va desde 15 hasta 95 kJ/mol. Además, en el estudio de secado de pimiento rojo realizado por Cao et al. (2016) encontraron una energía de activación de 44.48 kJ/mol; así como, López et al. (2009) obtuvieron la energía de activación 51.94 kJ/mol para la degradación del color de la pulpa de ají escabeche. Estos valores son similares para esta investigación teniendo en cuenta que son variedades similares.

Por otra parte, se observa que la energía de activación del envase laminado es mayor que la de polietileno de baja densidad. Esto significa que la velocidad de reacción de los compuestos de los ajíes en el envase laminado es más sensible a los cambios de temperatura, siendo más lento la oxidación de los carotenoides, porque necesita mayor cantidad de energía para manifestar la reacción (oscurecimiento) que la de polietileno de baja densidad.

La variación de las energías de activación y las velocidades de reacción pudo ocurrir por factores que modificaron la cinética de reacción tales como la diferencia de temperatura externa e interna del envase y el área de superficie de contacto de los encurtidos. Las características propias del envase como el espesor, densidad, conductividad y difusividad térmica hace que la transferencia de calor en el interior del producto se comporte diferente, así mismo, el área de contacto de los encurtidos y la forma como se colocaron en la cámara climática podrían haber influido de manera diferente en las reacciones de degradación.

Hadad & Montoya (2022) mencionan que los factores que modifican las velocidades de reacción están sujetas por catalizadores, concentración, temperatura, superficies de contacto, etc. Así mismo, mencionan que la energía de activación depende directamente de la

temperatura y es características de cada reacción, donde menores barreras de energía generarían un aumento de las velocidades de reacción, por lo que sería adecuado conocer que factores alteran la barrera energética.

Martínez (2016) menciona que la conductividad térmica de un material mide la capacidad para transferir calor y la difusividad térmica mide la propagación de la temperatura, el cual en materiales como los polímeros plásticos estos valores son muy pequeños pero que pueden variar de acuerdo al tipo de material y su estructura. Además, menciona que estas variaciones se atribuyen al orden estructural del termoplástico y las propiedades térmicas de los polímeros son muy dependientes de la densidad molecular, peso y orientación.

Por otra parte, Barthélemy et al. (2013) mencionan que la superficie de contacto es un factor muy determinante en las reacciones cinéticas de un alimento, el cual una mayor exposición del área aumenta las velocidades de reacción, por lo que las reacciones de degradación de un compuesto se aceleran.

En la Tabla 13 se muestra el grado de significancia (%), el valor del estadístico de prueba chi-cuadrado y el valor de verosimilitud con y sin restricciones de los modelos de supervivencia utilizados para los envases laminados y polietileno de baja densidad.

**Tabla 13: Nivel de significancia ( $\alpha$ ) del estadístico de prueba “chi-cuadrado” (Q) y valor de verosimilitud del análisis de supervivencia para cada envase**

<b>Valores</b>	<b>Laminado</b>	<b>Polietileno</b>
<b>Verosimilitud con restricciones</b>	434.929	493.498
<b>Verosimilitud sin restricciones</b>	405.763	479.237
<b>Nivel de significancia (<math>\alpha</math>)</b>	2.209e <sup>-12</sup>	9.265e <sup>-06</sup>
<b>Estadístico de prueba (Q)</b>	58.332	28.522
<b>Grados de libertad (g.l)</b>	5	5

En la Tabla 13 se muestra los niveles de significancia ( $\alpha$ ) en % de las pruebas chi-cuadrado obtenidos por el programa R, arrojando los valores de  $2.21e^{-12}$  y  $9.27e^{-06}$  para los envases laminado y polietileno de baja densidad, respectivamente.

El valor de la prueba estadística chi-cuadrado para el envase laminado es:  $Q = 2 \times (434.929 - 405.763) = 58.332$  con 5 grados de libertad (g.l). La probabilidad correspondiente para este valor de chi-cuadrado es  $\alpha = 2.209e^{-12}$ ; por lo tanto, siendo  $\alpha < 1\%$  no existe evidencia estadística para rechazar el modelo Arrhenius-Weibull (con restricciones) utilizado para estimar la vida útil de los encurtidos a  $25^{\circ}\text{C}$  en el envase laminado.

Así mismo, el valor de la prueba estadística chi-cuadrado para el envase de polietileno es:  $Q = 2 \times (493.498 - 479.237) = 28.522$  con 5 grados de libertad (g.l). La probabilidad correspondiente para este valor de chi-cuadrado es  $\alpha = 9.265e^{-06}$ ; por lo tanto, siendo  $\alpha < 1\%$  no existe evidencia estadística para rechazar el modelo Arrhenius-Weibull (con restricciones) utilizado para estimar la vida útil de los encurtidos a  $25^{\circ}\text{C}$  en el envase de polietileno de baja densidad.

Se puede observar que los valores de verosimilitud con y sin restricciones son muy parecidos, es por ello que el modelo de Arrhenius-Weibull se ajustó correctamente con los datos experimentales. Esto concuerda con Meeker et al. (2022) quienes mencionan que si la diferencia es grande en los valores de verosimilitud, existiría evidencia de falta de ajuste del modelo con restricciones.

Por otra parte, Silva & Sánchez-González (2016) encontraron un valor de nivel de significancia de  $2.54 \times 10^{-9}$ , en la prueba chi-cuadrado del estudio de vida útil de ají de gallina, el cual resultó ser altamente significativo por lo que utilizaron el modelo de covariables. De la misma forma, Sánchez-González & Pérez (2016) encontraron valores de significancia de  $1.29 \times 10^{-11}$  y  $1.74 \times 10^{-7}$ , en la prueba chi-cuadrado del estudio de vida útil de dos tipos de quesos comprobando así el ajuste de tendencia de supervivencia.

### 4.3.3. ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LOS ENCURTIDOS A 25°C

En la Tabla 14 se muestra los valores estimados de vida útil a la temperatura de 25°C obtenidos del programa estadístico R mediante sus respectivos comandos de programación, con un intervalo de confianza de 95 % para cada porcentaje de rechazo de los consumidores.

**Tabla 14: Tiempo de vida útil estimado (días) de los encurtidos de ají charapita a 25°C de almacenamiento en 10, 25 y 50 % de rechazo**

Porcentaje de rechazo	Vida útil (días)	
	Envase laminado	Envase polietileno
10	11.81 ± 2.49	2.27 ± 0.55
25	19.70 ± 3.23	4.24 ± 0.80
50	30.83 ± 4.68	7.31 ± 1.29

IC- Intervalo de confianza a 95 %

La vida útil estimada a temperatura ambiente (25°C) para un 50 % de probabilidad de rechazo y un intervalo de confianza del 95 % fue  $30.83 \pm 4.68$  y  $7.31 \pm 1.29$  días para el envase laminado y polietileno de baja densidad, respectivamente. Existe una gran diferencia en los valores obtenidos, esto quiere decir que a condiciones normales de almacenamiento el envase laminado es mucho mejor que el de polietileno de baja densidad. Esto podría deberse a que este último no ofrece una adecuada barrera contra factores externos como el oxígeno que afectan directamente a los compuestos fenólicos del alimento.

Fellows (2019) menciona que la temperatura de almacenamiento influye más sobre la isomerización que el proceso térmico, cambiando de 5,6 epóxidos a 5,8 furanoides, lo que resulta una coloración menos intensa. Así mismo, el escaldado es utilizado para inactivar enzimas que degradan el color y producen pérdidas durante el procesamiento y almacenamiento (Arthey & Ashurst, 1997). Sin embargo, los frutos utilizados en los encurtidos son muy sensibles al calor y los indicadores de calidad, como el color y la textura, suelen degradarse en gran medida durante el tratamiento térmico (Lau et al., 2000). Por lo tanto, el tratamiento térmico podría no ser deseable para mantener la calidad del producto.

#### 4.4. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LOS ENCURTIDOS

##### 4.4.1. ACIDEZ TITULABLE DEL LÍQUIDO DE GOBIERNO

En la Tabla 15 se muestran los resultados de la acidez titulable del líquido de gobierno del total de mediciones (ver Anexo 14), para la muestra con el mayor tiempo de almacenamiento.

**Tabla 15: Acidez titulable del líquido de gobierno en el máximo tiempo de almacenamiento**

Envase	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Promedio (%)	Desviación estándar
Laminado	28	600	2.182	0.092
Polietileno		168	2.202	0.092
Laminado	30	480	2.102	0.060
Polietileno		120	1.581	0.035
Laminado	35	360	1.902	0.035
Polietileno		120	1.321	0.060
Laminado	40	240	1.802	0.060
Polietileno		96	0.851	0.063

Se puede observar que la acidez disminuye en los envases cuando las temperaturas a las que son sometidos los encurtidos son más altas. Los pliegues del empaque plástico pudieron ser modificados con la temperatura, generando pequeñas dilataciones en su estructura lo que produciría que la acidez se pierda. Esto puede ocurrir porque el ácido acético es un metabolito muy volátil cuando se aplica calor y produciría una alteración en su composición.

Según la NTP 209.100 de especias y condimentos de encurtidos el valor máximo permitido es de 3.5 % de acidez expresado en ácido acético. Además, para Reynolds (1975) citado por Lee (2004) la acción del ácido acético se basa esencialmente en disminuir el valor de pH del producto, sólo por encima de una concentración de 0.5 % de ácido acético puede ejercer una acción antimicrobiana para penetrar en la pared celular y desnaturalizar la proteína del plasma celular. Sin embargo, los valores de acidez obtenidos en la investigación se encontraron dentro de lo permitido.

#### 4.4.2. pH DEL LÍQUIDO DE GOBIERNO

En la Tabla 16 se muestran los resultados de pH realizado al líquido de gobierno del total de mediciones (ver Anexo 14), para la muestra con el mayor tiempo de almacenamiento.

**Tabla 16: pH del líquido de gobierno en el máximo tiempo de almacenamiento**

<b>Envase</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Promedio (s/u)</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>Laminado</b>	28	600	3.523	0.010
<b>Polietileno</b>		168	3.370	0.012
<b>Laminado</b>	30	480	3.587	0.058
<b>Polietileno</b>		120	3.467	0.029
<b>Laminado</b>	35	360	3.667	0.012
<b>Polietileno</b>		120	3.683	0.058
<b>Laminado</b>	40	240	3.690	0.025
<b>Polietileno</b>		96	3.787	0.010

Se puede observar que la relación que existe entre la acidez y el pH es inversa, teniendo mayor acidez en los encurtidos con menor pH; esto quiere decir que, estos valores obtenidos variaron de acuerdo la pérdida de acidez por aumento de temperatura. Así mismo, el pH del líquido de gobierno inicial podría ir aumentando a lo largo del almacenamiento por la diferencia de concentración que existe entre los ajíes y la solución. Según Ward (2019) menciona que el agua contenido de los vegetales remojados en la solución de vinagre se extrae gradualmente a través de ósmosis, esto genera que se diluya la solución reduciéndose la acidez general, en consecuencia se modifica el pH.

Todos los valores de pH obtenidos para las temperaturas trabajadas cumplieron con el estándar aceptado de  $\text{pH} < 4.6$ , que es un rango que no permitirá el crecimiento de microorganismos patógenos o de descomposición. Según Lee (2004) recomienda un pH de 4.2 a 4.3 para encurtidos de pepinillos. Así mismo, Aljahani (2020) obtuvo pH de encurtidos de diferentes hortalizas menores a 4.6, lo que también fue corroborado por Breidt et al. (2004) en su estudio del efecto del ácido acético en la inhibición de microorganismos de productos encurtidos.

No obstante, Leveau & Bouix (2000) mencionan que las levaduras son microorganismos resistentes a niveles altos de acidez, pero son pocas especies de levadura que logran su adaptación en estas condiciones, ya que la mayoría de estas en pH bajo (vinagre) no logran su crecimiento. De igual forma, Ramírez (2014) menciona que las levaduras se desarrollan óptimamente en un pH entre 5 – 6.5, pudiéndose desarrollar en un pH extremo entre 3.3 – 8.5, pero en estos niveles su desarrollo es lento, siendo las especies altamente acidófilas escasas y muy termosensibles

#### 4.4.3. ÍNDICE DE COLOR DE LOS AJÍES CHARAPITA

En la Tabla 17 se muestran los resultados de índice de color (IC) realizado al ají charapita del total de mediciones (ver Anexo 14), para la muestra con el mayor tiempo de almacenamiento.

**Tabla 17: Índice de color en el máximo tiempo de almacenamiento**

<b>Envase</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Promedio (s/u)</b>	<b>Desviación estándar</b>
<b>Laminado</b>	28	600	4.341	0.113
<b>Polietileno</b>		168	3.977	0.079
<b>Laminado</b>	30	480	4.028	0.106
<b>Polietileno</b>		120	3.372	0.172
<b>Laminado</b>	35	360	3.910	0.205
<b>Polietileno</b>		120	3.079	0.038
<b>Laminado</b>	40	240	3.679	0.027
<b>Polietileno</b>		96	2.695	0.087

El color del ají charapita se mantuvo estable para las temperaturas más bajas, pero fue muy variable en la temperatura de 35 y 40°C teniendo una disminución notable en el índice de color para el envase de polietileno de baja densidad. Sin embargo, todas las medias encontradas estuvieron dentro de la clasificación de amarillo pálido hasta naranja intenso (+2 +20). Según Villar (2019) el índice de color (IC) depende mucho de las accesiones del ají y del lugar de origen; además, menciona que el bajo índice de color está relacionado con los colores amarillentos de los carotenoides, que a su vez es inversamente proporcional con la tonalidad (indicador amarillo).

El oscurecimiento de los ajíes pudo deberse a la inactivación parcial del complejo oxidativo, esto concuerda con Schweiggert et al. (2006) quienes mencionan que es posible la regeneración de la actividad de las peroxidases (PPD) durante el almacenamiento, a pesar de que se haga un tratamiento térmico. Así mismo, el escaldado fue un tratamiento severo por la alta temperatura, pudiendo degradar parte de los carotenoides del ají. Zhang et al. (2021) mencionan que el tratamiento térmico promueve la ruptura de las paredes de las células del ají, liberando y exponiendo los carotenoides con el oxígeno, lo que modificaría el color.

Por otra parte, el medio ácido del líquido de gobierno pudo alterar las estructuras químicas de los pigmentos naturales del ají, provocando pérdida de color durante el almacenamiento. Según Meléndez-Martínez (2017) menciona que las violaxantinas y neoxantinas de grupo 5,6 epóxidos, que se encuentran presentes en tejidos fotosintéticos como amarillos y anaranjados, se isomerizan a luteoxantinas y auroxantinas de grupo 5,8 furanoides cuando se encuentran en medios ácidos, incluso esta reacción se produce cuando el fruto libera sus propios ácidos cuando son sometidos a moliendas, ablandamientos o exprimidos.

#### 4.4.4. RECUENTO DE LEVADURAS EN LOS ENCURTIDOS

En la Tabla 18 se muestra los resultados obtenidos del recuento de levaduras durante el almacenamiento del encurtido en función de la temperatura de almacenamiento.

**Tabla 18: Recuento de levaduras en muestras de encurtido de ají charapita para cada envase y temperatura de almacenamiento**

Temperatura	Envase	Recuento inicial (ufc/g)		Recuento final (ufc/g)	
		m = 10 <sup>3</sup>	M = 10 <sup>4</sup>	m = 10 <sup>3</sup>	M = 10 <sup>4</sup>
28°C	Laminado	2.0 x 10 <sup>1</sup>		< 100	
	Polietileno	2.0 x 10 <sup>1</sup>		< 100	
30°C	Laminado	< 10		< 100	
	Polietileno	< 10		< 100	
35°C	Laminado	< 10		< 100	
	Polietileno	< 10		< 100	
40°C	Laminado	2.5 x 10 <sup>1</sup>		< 100	
	Polietileno	2.5 x 10 <sup>1</sup>		< 100	

“m” (minúscula) = Límite microbiológico que separa la calidad aceptable de la rechazable

“M” (mayúscula) = Límite microbiológico que considera si el alimento representa un riesgo para la salud

En la Tabla 18 se observa el recuento de levaduras realizado a las muestras de encurtido en cada temperatura de almacenamiento y para cada envase. Todos los valores se encuentran por debajo de las 100 ufc/g, lo que quiere decir que no excedió el límite microbiológico que separa la calidad aceptable de la rechazable ( $m = 10^3$ ) recomendado por la ICMFS (2000) en la NTS N° 071 - MINSA/DIGESA-V.01. Esto ocurre porque el ácido acético es la principal barrera microbiológica que el producto tiene contra microorganismos patógenos, ya que genera la disminución de pH menor a 4.6.

Además, el tratamiento térmico realizado al líquido de gobierno y los ingredientes utilizados como la sal, otorgan barreras adicionales contra el crecimiento de microorganismos indicadores de alteración como las levaduras. Así mismo, Lee (2004) menciona que la sal, el ácido acético y el calor son factores importantes para aumentar la seguridad microbiana de los productos encurtidos. Aljahani (2020) encontró valores de levaduras menores al límite permitido para encurtidos frescos y enlatados en diferentes lugares de origen.

Por otra parte, las levaduras encontradas en el encurtido forma parte de las levaduras nativas propias del ají charapita y estas pueden variar de acuerdo a las condiciones del lugar de origen, procesamiento, manejo y factores ambientales. A pesar de que el encurtido se almacenó en condiciones óptimas de temperatura para el crecimiento de estos microorganismos, el desarrollo fue mínimo hasta el término de la prueba. Esto puede deberse a que la acción del ácido acético influye en parte en el crecimiento de las colonias, esto concuerda con Marshall et al. (2016) quienes mencionan que el ácido acético es más efectivo contra las bacterias, pero también tiene acción contra las levaduras y mohos.

## V. CONCLUSIONES

1. Se logró evaluar el tiempo de vida útil de los encurtidos de ají charapita aplicando el método de análisis de supervivencia con pruebas aceleradas, siendo la temperatura de almacenamiento y el tipo de envase los factores más determinantes en la alteración de las propiedades sensoriales del ají, destacando el cambio de coloración como el criterio analizado para el rechazo del producto. El empleo de altas temperaturas en el almacenamiento y el uso del polietileno de baja densidad incrementaron los efectos negativos sobre el tiempo de vida útil. El mayor valor estimado de todas las temperaturas empleadas con una probabilidad de rechazo del 50 % fue  $581.49 \pm 65.30$  horas para el envase laminado.
2. Se elaboró de manera óptima los encurtidos de ají charapita con los envases laminado y polietileno de baja densidad, siendo el laminado el envase de mejor conservación, manejo, desarrollo y presentación de los encurtidos. Los pesos del producto final por unidad fueron 550 y 511 gramos para el envase laminado y polietileno, respectivamente.
3. El modelo de Arrhenius-Weibull permitió estimar la vida útil de los encurtidos a temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$ ) en los dos envases evaluados, siendo el laminado el material que favoreció mejor la conservación de la calidad del encurtido de ají charapita con un tiempo de vida estimado de  $30.83 \pm 4.68$  días en 50 % de probabilidad de rechazo de los consumidores. Así mismo, la energía de activación en el laminado fue mayor que el de polietileno y el ajuste de tendencia del modelo en ambos casos estuvo bien aplicado.
4. Las altas temperaturas de almacenamiento y el tipo de envase afectaron de manera negativa a los encurtidos, generando más pérdidas en la acidez titulable para el envase de polietileno de baja densidad que para el laminado; sin embargo, este último mantuvo mejor la acidez a pesar de las temperaturas altas y el mayor tiempo de

almacenamiento; no obstante, el pH estuvo en un rango aceptable en los dos envases, no excediendo del límite para productos de alta acidez. También, el índice de color de los ajíes fue afectado especialmente en las temperaturas altas almacenadas en envase de polietileno de baja densidad, presentando valores cercanos entre amarillo pálido y verdoso; así mismo, todas las muestras de encurtido en el recuento final de levaduras presentaron valores menores de 100 ufc/g, no excediendo el límite microbiológico permitido para alimentos de calidad aceptable.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar la validación de las vidas útiles encontradas usando la misma metodología pero con pruebas en tiempo real.
- Cambiar el envase de presentación (vasos descartables) por envases que permitan mejor visibilidad de las muestras de ajíes al momento de realizar la evaluación sensorial
- Evaluar y comparar la estimación de la vida útil de los encurtidos respecto a otros atributos de calidad tales como textura y sabor.
- Estudiar la migración de los componentes tóxicos del plástico (ftalatos) hacia el encurtido, para corroborar que estos no causen daño a la salud de las personas cuando se aplique temperaturas altas de tratamiento durante el almacenamiento.
- Realizar prueba microbiológica de recuento en placa de Salmonella para descartar cualquier posible crecimiento de este microorganismo patógeno.
- Realizar un análisis HPLC durante el almacenamiento para observar el comportamiento de los capsaicinoides y carotenoides del ají charapita con la temperatura.
- Evaluar con el mismo método de análisis de supervivencia con pruebas aceleradas para estimar el tiempo de vida útil del encurtido en envases convencionales como el vidrio.
- Comparar el método computacional con el método gráfico para ajustar valores en un correcto manejo de los parámetros de la distribución de Weibull y encontrar similitudes en los valores de vida útil.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- AERSA. (2020). Doypack: usos y características de este envase flexible. Abastecedora de Empacadoras y Rastros S.A. Recuperado de <https://aersa.net/doypack-usos-y-caracteristicas-de-este-envase-flexible/>
- Aljahani, A. H. (2020). Microbiological and physicochemical quality of vegetable pickles. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(6): 415–421. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.07.001>
- APEGA. (2009). Ajíes peruanos. Sazón para el mundo [Versión digital]. Recuperado de <http://www.lamolina.edu.pe/hortalizas/webdocs/ajiesdelPeru.pdf>
- Arthey, D. & Ashurst, P. (1997). Procesado de frutas (1era ed.). Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A.
- AUSETUTE. (26 de septiembre del 2021). Polythene (polyethylene): properties, production & uses. Production, properties and uses of polyethylene chemistry tutorial. Recuperado de <https://www.usetute.com.au/polythen.html>
- Barthélemy, C., Cornago, P., Esteban, S., & Gálvez, M. (2013). La química en la vida cotidiana. Universidad Nacional de Educación a Distancia [Versión digital]. Recuperado de [https://www.google.com.pe/books/edition/LA\\_QU%C3%8DMICA\\_EN\\_LA\\_VIDA\\_COTIDIANA/6UhGAgAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/LA_QU%C3%8DMICA_EN_LA_VIDA_COTIDIANA/6UhGAgAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1)
- Bosland, P. W. & Votava, E. J. (2012). Peppers: Vegetable and Spice Capsicums (2nd ed.). Wallingford, UK. Editorial CABI.
- Bravo, J. & Bravo, L. (2014). Estudio comparativo de diferentes líquidos de cobertura (vinagreta y salmuera) en la elaboración de encurtido de espárrago (*Asparagus officinalis*). (Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil). Recuperada de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1854/1/T-UCSG-PRE->

- Breidt, F., Hayes, J. S. & McFeeters, R. F. (2004). Independent effects of acetic acid and pH on survival of *Escherichia coli* in simulated acidified pickle products. *Journal of Food Protection*, 67(1): 12–18. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.1.12>
- Cao, Z. Z., Zhou, L. Y., Bi, J. F., Yi, J. Y., Chen, Q. Q., Wu, X. Y., Zheng, J. K., & Li, S. R. (2016). Effect of different drying technologies on drying characteristics and quality of red pepper (*Capsicum frutescens* L.): a comparative study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(10): 3596–3603. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7549>
- Cardelli, C. & Labuza, T. P. (2001). Application of weibull hazard analysis to the determination of the shelf Life of roasted and ground coffee. *Lwt-Food Science and Technology*, 34(5): 273–278. <https://doi.org/10.1006/fstl.2000.0732>
- Cárdenas, N. V., Cevallos, C. E., Salazar, J. C., Romero, E. R., Gallegos, P. L. & Cáceres, M. E. (2018). Uso de pruebas afectivas, discriminatorias y descriptivas de evaluación sensorial en el campo gastronómico. *Dominio de Las Ciencias*, 4(3): 253-263. <https://doi.org/10.23857/dc.v4i3.807>
- Cartay, R. & Osorio, D. (4 de agosto del 2021). Ají charapita - Del infierno a su boca. Del Amazonas. Enciclopedia Amazónica. Recuperado de <https://delamazonas.com/alimentacion/aji-charapita/>
- Castillo, A. (2019). Evaluación agronómica de ajíes promisorios de la colección de germoplasma de capsicum del programa de hortalizas de la UNALM. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3896>
- CEPAL. (27 de mayo del 2020). Sectores y empresas frente al COVID-19: emergencia y reactivación. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45734/4/S2000438\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45734/4/S2000438_es.pdf)
- Duncan, B., Urquhart, J. & Roberts, S. (2005). Review of measurement and modelling of permeation and diffusion in polymers. In *Engineering* (Issue January). Recuperado de <http://eprintspublications.npl.co.uk/id/eprint/3221>
- Envapack. (2017). Bolsas Doypack transparentes. Envapack Perú. Recuperado de <https://envapack-peru.com/bolsas-doypack-transparente/>

- Esparza, A. (2008). Sistemas de alta barrera en empaques flexibles. (Especialización en química aplicada, Centro de Investigación en Química Aplicada). Recuperada de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/340/1/Ana%20Leonor%20Esparza%20Garces.pdf>
- FAO. (06 de abril del 2020). Serie COVID-19 / Consejos para la conservación de las frutas y hortalizas con el fin de reducir el desperdicio de alimentos y alargar su vida útil. Recuperado de <https://www.fao.org/food-loss-reduction/news/details/es/c/1297313/>
- Fellows, P. (2019). Tecnología del procesado de los alimentos. Principios y práctica (3ra ed.). Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A.
- Fernández-Ronco, M. P., De Lucas, A., Rodríguez, J. F., García, M. T. & Gracia, I. (2013). New considerations in the economic evaluation of supercritical processes: Separation of bioactive compounds from multicomponent mixtures. *Journal of Supercritical Fluids*, 79(2013): 345–355. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2013.01.018>
- Food and Nutrition Board. (2000). Dri dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids. national Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (1st ed.). Washington, D.C: Editorial National Academy Press.
- Fратиани, A., Niro, S., Messina, M. C., Cinquanta, L., Panfili, G., Albanese, D. & Di Matteo, M. (2017). Kinetics of carotenoids degradation and furosine formation in dried apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Food Research International*, 99: 862–867. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.12.009>
- Gacula, M. C. & Kubala, J. J. (1975). Statistical models for shelf life failures. *Journal of Food Science*, 40(2): 404–409. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1975.tb02212.x>
- Gacula, M., Singh, J., Bi, J. & Altan, S. (2008). Statistical Methods in Food and Consumer Research. [Digital version]. Recuperado de [https://www.google.com.pe/books/edition/Statistical\\_Methods\\_in\\_Food\\_and\\_Consumer/3gRjHnMcG0gC?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Statistical_Methods_in_Food_and_Consumer/3gRjHnMcG0gC?hl=es-419&gbpv=1)
- Gallego, M. R. (2007). Oleorresinas de capsicum en la industria alimentaria. *Lasallista De Investigacion*, 3(2): 46-47. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/695/69530208.pdf>
- García, J., Brañas, M., Bardales, J., Del Aguila, R., Panduro, A., Mass, Wagner., Reig, M.

- & Pinedo, J. (2010). Chacras Amazónicas: Guía para el manejo ecológico de cultivos, plagas y enfermedades (1era ed.). Lima, Perú: Editorial Proyecto Araucario XXI Nauta-MINAM
- Garitta, L., Gómez, G. & Curia, A. (2005). Metodología de estadística de supervivencia. In G. Hough & S. Fiszman (Eds.), Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos (p. 53-68). Recuperado de <https://plataformaiestphuando.com/wp-content/uploads/2023/02/LIBRO-ESTIMACION-DE-LA-VIDA-UTIL-SENSORIAL-DE-LOS-ALIMENTOS.pdf>
- Gobierno Regional de Ucayali. (12 de enero del 2022). Asociación “PIMENTAL” da valor agregado a ajíes amazónicos con calidad orgánica. Plataforma Digital Única Del Estado Peruano. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/regionucayali/noticias/575858-asociacion-pimental-da-valor-agregado-a-ajies-amazonicos-con-calidad-organica>
- Gómez, G. & Cobo, E. (2004). Análisis de supervivencia. In *Elsevier*, 3(4): 185-192. Recuperado de <https://www.elsevier.es/index.php?p=revista&pRevista=pdf-simple&pii=70000203&r=436>
- Hadad, C., & Montoya, R. (2022). Química: origen y fronteras. Universidad de Antioquia [Versión digital]. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=xxVsEAAAQBAJ&newbks=1&newbks\\_redir=0&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=xxVsEAAAQBAJ&newbks=1&newbks_redir=0&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Hough, G. (2010). Survival analysis applied to sensory shelf life. G. Hough (Ed), Sensory Shelf Life Estimation of Food Products (p. 83-112) Recuperado de [https://www.google.com.pe/books/edition/Sensory\\_Shelf\\_Life\\_Estimation\\_of\\_Food\\_Pr/wmm2kurjHywC?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Sensory_Shelf_Life_Estimation_of_Food_Pr/wmm2kurjHywC?hl=es-419&gbpv=1)
- Hough, G., Garitta, L. & Gómez, G. (2006). Sensory shelf-life predictions by survival analysis accelerated storage models. *Food Quality and Preference*, 17(6): 468–473. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.05.009>
- Hough, G., Langohr, K., Gomez, G. & Curia, A. (2003). Survival analysis applied to sensory shelf life of foods. *Journal of Food Science*, 68(1): 359–362. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb14165.x>
- Hough, G., Luz Calle, M., Serrat, C. & Curia, A. (2007). Number of consumers necessary

- for shelf life estimations based on survival analysis statistics. *Food Quality and Preference*, 18(5): 771–775. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2007.01.003>
- Hough, G. & Wittig, E. (2005). Introducción al análisis sensorial. In G. Hough & S. Fiszman (Eds.), *Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos* (p. 13-16). Recuperado de <https://plataformaiestphuando.com/wpcontent/uploads/2023/02/LIBRO-ESTIMACION-DE-LA-VIDA-UTIL-SENSORIAL-DE-LOS-ALIMENTOS.pdf>
- Huanchi, R. (2013). *Determinación de la permeabilidad en empaques plásticos*. (Tesis de pregrado, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana). Recuperada de <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/2449/Determinacion%20de%20la%20permeabilidad%20en%20empaques%20plasticos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ICMFS. (2000). *Microorganismos de Los Alimentos 1. Su significado y métodos de enumeración* (2da ed.). Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A.
- Kantar, Y. M. & Şenoğlu, B. (2008). A comparative study for the location and scale parameters of the Weibull distribution with given shape parameter. *Computers and Geosciences*, 34(12): 1900–1909. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.04.004>
- Keklik, N. M., Işikli, N. D. & Sur, E. B. (2017). Estimation of the shelf life of pezik pickles using weibull hazard analysis. *Food Science and Technology*, 37(1): 125–130. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.33216>
- Klein, J. P. & Moeschberger, M. L. (1997). *Survival analysis: Techniques for censored and truncated data* [Digital version]. Recuperado de [https://www.google.com.pe/books/edition/Survival\\_Analysis/\\_2DaBwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0](https://www.google.com.pe/books/edition/Survival_Analysis/_2DaBwAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0)
- Kleinbaum, D. & Klein, M. (2012). *Survival analysis: A self-learning text* [Digital version]. Recuperado de [https://www.google.com.pe/books/edition/Survival\\_Analysis/yrzkbQEACAAJ?hl=es-419](https://www.google.com.pe/books/edition/Survival_Analysis/yrzkbQEACAAJ?hl=es-419)
- Krinsky, N. (1994). The biological properties of carotenoids. *Pure and Applied Chemistry*, 66(5): 1003–1010. <https://doi.org/10.1351/pac199466051003>
- Lau, M. H., Tang, J. & Swanson, B. G. (2000). Kinetics of textural and color changes in

- green asparagus during thermal treatments. *Journal of Food Engineering*, 45(4): 231–236. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00069-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00069-8)
- Lee, S. (2004). Microbial safety of pickled fruits and vegetables and hurdle technology. *Journal of Food Safety*, 4: 21–32. Recuperado de <https://pdf4pro.com/amp/view/microbial-safety-of-fruit-and-vegetable-products-13417.html>
- Lenz, M. & Lund, D. (1980). Experimental procedures for determining destruction kinetics of food components. *Food Technology*, 34(2): 51–55.
- Leveau, J. & Bouix, M. (2000). Microbiología industrial (1era ed.). Zaragoza, España: Editorial Acribia S.A.
- Llaguno, C. & Polo, M. (1991). El vinagre de vino. [Versión digital]. Recuperado de [https://books.google.com.mx/books?id=oiwR3JFKrecC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=oiwR3JFKrecC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- López, S., Márquez, L. & Pretell, C. (2009). Temperatura y tiempo de tratamiento térmico y el color de la pulpa de ají escabeche ( *Capsicum baccatum* L .). *Pueblo cont*, 20(1): 167–173. Recuperado de <https://1library.co/document/koopj9jq-temperatura-y-tiempo-de-tratamiento-termico-y-el-color-de-la-pulpa-de-aji-escabeche-capsicum-baccatum-1.html>
- Man, C. M. D. & Jones, A. A. (1994). Shelf life evaluation of foods [Digital version]. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-2095-5>
- Mapelli, P. (2018). Hacia el uso de carotenoides incoloros como ingredientes funcionales de alimentos (Tesis doctoral, Universidad de Sevilla). Recuperada de <https://idus.us.es/handle/11441/82941>
- Marshall, D. L., Dickson, J. S. & Nguyen, N. H. (2016). Ensuring food safety in insect based foods: mitigating microbiological and other foodborne hazards. In Dossey, A., Morales-Ramos, J. & Guadalupe, M (Eds.), *Insects as Sustainable Food Ingredients: Production, Processing and Food Applications* (p. 223-253). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00008-9>
- Martínez, E. (2016). Influencia de la concentración y dispersión de estructuras gráficas (Grafito y nano placas de Grafito) sobre la conductividad térmica de compuestos HDPE

- empleando mezclado en fundido. (Tesis doctoral, Centro de Investigación de Química Aplicada). Recuperada de <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/98/1/Tesis%20DTP%20Esperanza%20Elizabeth%20Mtz%20Segovia%20Ago%2019%202016.pdf>
- Meeker, W., Escobar, L. & Pascual, F. (2022). Statistical methods for reliability data [Digital version]. Recuperado de [https://www.google.com.pe/books/edition/Statistical\\_Methods\\_for\\_Reliability\\_Data/39ZKEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Statistical_Methods_for_Reliability_Data/39ZKEAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1)
- Meléndez-Martínez, A. (2017). Carotenoides, estructura, propiedades y funciones. In A. Meléndez-Martínez (Ed.), Carotenoides en agroalimentación y salud (p. 12-31). Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Damaso\\_Hornero-Mendez/publication/321310561\\_Carotenoides\\_en\\_agroalimentacion\\_y\\_salud/links/5a1bfa83a6fdcc50adecad92/Carotenoides-en-agroalimentacion-y-salud.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Damaso_Hornero-Mendez/publication/321310561_Carotenoides_en_agroalimentacion_y_salud/links/5a1bfa83a6fdcc50adecad92/Carotenoides-en-agroalimentacion-y-salud.pdf)
- Meléndez-Martínez, A., Vicario, I. & Heredia, F. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2): 209–215. Recuperado de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222004000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222004000200011&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Mendez, M., Ligarreto, G., Hernández, M. & Melgarejo, L. (2004). Evaluación del crecimiento y determinación de índices de cosecha en frutos de cuatro materiales de ají (*Capsicum* sp.) cultivados en la Amazonía colombiana. *Agronomía Colombiana*, 22(1): 7–17. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180317823002>
- MIDAGRI. (2020). Encurtido de ajíes nativos. Catálogo Virtual de Productos Agrarios. Recuperado de <https://catalogo.midagri.gob.pe/Catalogo/Producto/833>
- MINCETUR. (junio, 2009). Guía de envases y embalajes. Dirección Nacional de Desarrollo de Comercio Exterior. Recuperado de [https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio\\_exterior/Sites/ueperu/consultora/docs\\_taller/envases\\_y\\_embalajes.pdf](https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/Sites/ueperu/consultora/docs_taller/envases_y_embalajes.pdf)
- Montenegro, M. (2022). El reto de la reactivación económica: un compromiso de todos. Revista de Food & Health Consulting S.A.C. Recuperado de [https://issuu.com/revistaindustriaalimentaria/docs/directorio\\_industria\\_alimentaria\\_2022\\_1\\_](https://issuu.com/revistaindustriaalimentaria/docs/directorio_industria_alimentaria_2022_1_)

- Moskowitz, H. R. (1997). Base size in product testing: A psychophysical viewpoint and analysis. *Food Quality and Preference*, 8(4): 247–255. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(97\)00003-7](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(97)00003-7)
- Murcia, A., Sanguino, P., Velandía, C., Barrera, A., Sarmiento, N., Toledo, N., Navas, A., ... Rivera, W. (abril, 2021). Polietileno de baja densidad LDPE. *Revista de Unidades Tecnológicas de Santander*, 5 p. Recuperado de <https://www.uts.edu.co/sitio/wp-content/uploads/2019/10/c-poli-baja.pdf>
- Nelson, W. (2009). Accelerated testing: statistical models, test plans, and data analysis [Digital version]. Recuperado de [https://www.google.com.pe/books/edition/Accelerated\\_Testing/Dk85hUWrhp8C?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Accelerated_Testing/Dk85hUWrhp8C?hl=es-419&gbpv=1)
- Nicoli, M. C. (2012). Shelf life assessment of food [Digital version]. Recuperado de [https://www.google.com.pe/books/edition/Shelf\\_Life\\_Assessment\\_of\\_Food/mnPRBQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Shelf+Life+Assessment+of+Food&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/Shelf_Life_Assessment_of_Food/mnPRBQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=Shelf+Life+Assessment+of+Food&printsec=frontcover)
- Nuez, F., Gil, R. & Costa, J. (1996). *El cultivo de pimientos, chiles y ajies* (1st ed.). Madrid, España: Editorial Mundi-Prensa
- OSP. (19 de marzo del 2020). Doypack:sus ventajas y origen. OsonaSealPack. Recuperado de <https://www.ostonasealpack.com/doypack-sus-ventajas-y-origen/>
- Pizarro, R. (22 de febrero del 2017). Envases que alargan la vida útil de frutas y hortalizas. Redagrícola. Recuperado de <https://www.redagricola.com/cl/nuevos-desarrollos-envases-alargan-la-vida-util-frutas-hortalizas/>
- Pizarro, R. (11 de noviembre del 2020). ¿Qué hay de nuevo en la industria del packaging? Redagrícola. Recuperado de <https://www.redagricola.com/pe/que-hay-de-nuevo-en-la-industria-del-packaging/>
- Portal Food Tech. (4 de febrero del 2022). Crece la industria de envases y embalajes durante la pandemia. *Revista Industria Alimentaria*. Recuperado de <https://www.industriaalimentaria.org/blog/contenido/crece-la-industria-de-envases-y-embalajes-durante-la-pandemia>
- Presilla, M. (2017). Peppers of the Americas: The remarkable capsicums that forever

- changed flavor [Digital version]. Recuperado de <http://insight.randomhouse.com/widget/v4/?width=600&height=860&isbn=9780399578922&shortCode=545207&author=Maricel%20E.%20Presilla&title=Peppers%20of%20the%20Americas&referer>
- PROMPERÚ. (junio, 2016). Pimientos, rocotos y ajíes. Recuperado de <https://issuu.com/promperu/docs/capsicum>
- Ramallo, L. A., Pokolenko, J. J., Balmaceda, G. Z. & Schmalko, M. E. (2001). Moisture diffusivity, shrinkage, and apparent density variation during drying of leaves at high temperatures. *International Journal of Food Properties*, 4(1): 163–170. <https://doi.org/10.1081/JFP-100002194>
- Ramírez, G., Hough, G. & Contarini, A. (2001). Influence of temperature and light exposure on sensory shelf-life of a commercial sunflower oil. *Journal of Food Quality*, 24(3): 195–204. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2001.tb00602.x>
- Ramírez, T. (2014). Tecnología de los alimentos. Bases de la conservación. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Córdoba [Versión digital]. Argentina. Recuperado de <https://melenaramirez.files.wordpress.com/2013/08/tema2-basesconservacion.pdf>
- Rinne, H. (2008). The Weibull distribution: A handbook [Digital version]. Recuperado de [https://www.google.com.pe/books/edition/The\\_Weibull\\_Distribution/6wdcTfiLNS4C?hl=es-419&gbpv=1&dq=The+Weibull+Distribution:+A+Handbook&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/The_Weibull_Distribution/6wdcTfiLNS4C?hl=es-419&gbpv=1&dq=The+Weibull+Distribution:+A+Handbook&printsec=frontcover)
- Riva, R. (2019). Manual del cultivo de ají charapita (*Capsicum frutescens* L.) (1era ed.). Universidad Nacional de Ucayali. Recuperado de <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4008>
- Rodríguez-Amaya, D. (1999). Carotenoides y preparaciones de alimentos: la retención de los carotenoides provitamina A en los alimentos preparados, procesados y almacenados [Versión digital]. Recuperado de <https://docplayer.es/17024422-La-retencion-de-los-carotenoides-provitamina-a-en-alimentos-preparados-procesados-y-almacenados-por-delia-b-rodriguez-amaya-ph-d.html>

- Rojas, R., Patel, K., Ruiz, C., Calderón, R., Asencios, E., Quispe, F. & Marcelo, M. (2016). Ajiés nativos peruanos Caracterización agro-morfológica, químico-nutricional y sensorial (1era ed.). Universidad Peruana Cayetano Heredia. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12955/1039>
- Salazar, R., Fitz, E., López, I. & Rojano, A. (2017). Confiabilidad y análisis de fallas utilizando la distribución Weibull. *Sexto Congreso Internacional de Investigación En Ciencias Básicas y Agronómicas*, 5–16. Recuperado de [https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2018/05/MEMORIA\\_MESA\\_1A\\_CONGRESO2017.pdf](https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2018/05/MEMORIA_MESA_1A_CONGRESO2017.pdf)
- Sam, S., Nuradibah, M., Ismail, H., Noriman, N. & Ragunathan, S. (2014). Recent advances in polyolefins/natural polymer blends used for packaging application. *Polymer - Plastics Technology and Engineering*, 53(6): 631–644. <https://doi.org/10.1080/03602559.2013.866247>
- Sánchez-González, J. A. & Pérez, J. A. (2016). Sensory shelf life of mantecoso cheese using accelerated testing. *Scientia Agropecuaria*, 7(3): 215–222. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.08>
- Santa Cruz, M. J., Martínez, C. & Varela, P. (2005). Principios básicos de análisis sensorial. In G. Hough & S. Fiszman (Eds.), *Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos* (p. 17-41). Recuperado de <https://plataformaiesthphuando.com/wpcontent/uploads/2023/02/LIBRO-ESTIMACION-DE-LA-VIDA-UTIL-SENSORIAL-DE-LOS-ALIMENTOS.pdf>
- Schweiggert, U., Schieber, A. & Carle, R. (2006). Effects of blanching and storage on capsaicinoid stability and peroxidase activity of hot chili peppers (*Capsicum frutescens* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 7(3): 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2006.03.003>
- Silva, D. & Sánchez-González, J. A. (2016). Sensory shelf life of “Ají de Gallina” packaged using accelerated survival statistics. *Scientia Agropecuaria*, 7(3): 207–213. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.07>
- Stone, H. & Sidel, J. (2004). *Sensory evaluation practices* (3rd ed.). California, US: Editorial Academic Press.
- Taoukis, P., Labuza, T. & Saguy, I. (1997). Kinetics of food deterioration and shelf-life prediction. In K. Valentas, E. Rotstein. & P. Singh (Eds.), *The handbook of food*

- deterioration and shelf-life prediction (pp. 1–75). Recuperado de [https://www.academia.edu/53626044/Kinetics\\_of\\_Food\\_Deterioration\\_and\\_Shelf\\_Life\\_Prediction](https://www.academia.edu/53626044/Kinetics_of_Food_Deterioration_and_Shelf_Life_Prediction)
- Tewksbury, J. J. & Nabhan, G. P. (2001). Seed dispersal: Directed deterrence by capsaicin in chillies. *Nature*, 412(6845): 403–404. <https://doi.org/10.1038/35086653>
- Vázquez, J. (16 de diciembre del 2020). Capsicum: características, hábitat, propiedades, especies. Lifeder. Recuperado de <https://www.lifeder.com/capsicum/>
- Vera Enríquez, H. C. (2008). Evaluación Sensorial (Tesis de ingeniería, Instituto Politécnico Nacional). Recuperada de [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/14592/HAYDEE\\_VERA\\_INFORME\\_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/14592/HAYDEE_VERA_INFORME_FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Villar, J. (2019). Capsaicinoides, compuestos fenólicos, actividad antioxidante in vitro y color de 100 accesiones de Capsicum spp (Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4016>
- Villar, M., Aranda, N., Villar, P., Ballesté, S. I., Lora, M., López, N. & Pérez, C. (2017). Determinación del grado de acidez de vinagres comerciales de distinta materia prima. *MoleQla*, 26(7): 3–6. Recuperada de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/95638/Determinacióndelgrado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ward, C. (November 1, 2019). Pickle science: How to master the preserving power of acids. Serious eats. Recuperado de <https://www.seriousseats.com/preserving-pickle-cucumber-science-acidity>
- Xianquan, S., Shi, J., Kakuda, Y. & Yueming, J. (2005). Stability of lycopene during food processing and storage. *Journal of Medicinal Food*, 8(4): 413–422. <https://doi.org/10.1089/jmf.2005.8.413>
- Yang, H. J., Chung, K. R. & Kwon, D. Y. (2017). DNA sequence analysis tells the truth of the origin, propagation, and evolution of chili (red pepper). *Journal of Ethnic Foods*, 4(3): 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2017.08.010>
- Zhang, R., Chen, G., Yang, B., Wu, Y., Du, M. & Kan, J. (2021). Insights into the stability

of carotenoids and capsaicinoids in water-based or oil-based chili systems at different processing treatments. *Food Chemistry*, 342(128308): 1-10.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128308>

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: FICHA TÉCNICA DEL ENVASE DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

#### FICHA TÉCNICA: BOLSA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD

**Denominación técnica:** Bolsa de polietileno de baja densidad

**Descripción general:** Bolsa transparente hecho de polietileno de baja densidad (LDPE) con cierre zipper hermético.

**Unidades:** 100 unidades

**Material:** Polietileno de baja densidad

**Estructura:** Simple

**Espesor:** 50 micras

**Especificaciones:** Película transparente con cierre zipper

**Dimensiones:** Ancho 12 cm x Largo 18 cm.

**Aplicaciones:** Puede ser usado para el empaque de productos alimenticios, almacenar muestras alimentarias. Son aptas para congelación segura y eficaz con auto cierre por presión.

**Características:**

1. Gran transparencia y flexibilidad.
2. Envase que ofrece buena protección al alimento contra el vapor de agua pero contra el oxígeno es baja.
3. 100 % reciclables y reutilizables.
4. Bolsas resistentes a bajas temperaturas e impermeables.
5. Soporta el transporte mecánico de los alimentos.



## ANEXO 2: FICHA TÉCNICA DEL ENVASE LAMINADO DOYPACK

### FICHA TÉCNICA: BOLSA BILAMINADA DOYPACK STAND UP POUCH

**Denominación técnica:** Bolsa Doypack Stand Up

**Descripción general:** Bolsa transparente bilaminada con polietileno de alta densidad y una capa externa con poliéster (PET).

**Unidades:** 100 unidades

**Material:** Polietileno de alta densidad y laminación externa de Poliéster (PET)

**Estructura:** Laminada

**Espesor:** 122 micras

**Especificaciones:** Película transparente y sellado de fondo tipo “V” o parabólico

**Coefficiente de fricción INT/INT K S:** 0.18

**Fuerza de sellado T = 152°C; P = 40 psi; t = 0.5 s:** 45.11

**Dimensiones:** Ancho 13 cm x Largo 21 cm.

**Gramaje:** 120.45 g/m<sup>2</sup>

**Aplicaciones:** Puede ser usado para el empaque de productos alimenticios, cosméticos y farmacéuticos. Se puede utilizar para refrigerar y congelar. Este material no es garantizado para procesos térmicos ni llenado en caliente, con temperaturas superiores a 100°C.

1. Para procesos de pasteurización y usados para envasado en frío como en caliente.
2. Dimensiones y formas personalizables.
3. Laminados con propiedades de barrera que permiten óptima protección del producto y mayor tiempo de permanencia en los puntos de venta.
4. Gran atracción debido a la alta calidad de impresión.
5. Preserva tanto las vitaminas como el sabor y el cierre zipper es hermético pero de fácil apertura que permite consumir en varias tomas.
6. Menor volumen en el transporte y almacenamiento, dado su liviano peso y masa reducida significa menos viajes, menos residuos y menos emisiones de carbono por lo que es amigable con el medio ambiente.



### ANEXO 3: PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN



**Selección, clasificación y despedunculado**



**Lavado y desinfectado del ají charapita**



**Escaldado del ají charapita**



**Desinfectado de los envases**



**Pasteurización del líquido de gobierno**



**Envasado de los ajés**



**Llenado con el líquido de gobierno**



**Almacenamiento en la cámara climática**



**Evaluación sensorial**



**Laminado 40°C x 0 h**



**Laminado 40°C x 240 h**



**Polietileno 40°C x 0 h**



**Polietileno 40°C x 96 h**



**Laminado 30°C x 72 h**



**Polietileno 30°C x 120 h**



**Laminado 35°C x 240 h**



**Polietileno 35°C x 120 h**

## ANEXO 4: HOJA DE EVALUACIÓN SENSORIAL

### Hoja de Evaluación Sensorial

Panelista N°: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_

Sexo (M/F): \_\_\_\_\_

#### Instrucciones:

Usted recibirá muestras de encurtido de ají charapita que han sido almacenados en diferentes tiempos, envases y temperaturas. Responda la siguiente pregunta con una (X) según el orden establecido considerando el color como atributo de calidad del ají. **Sólo evaluar la muestra de forma visual.**

#### ¿Usted consumiría este producto?

Código de la muestra:

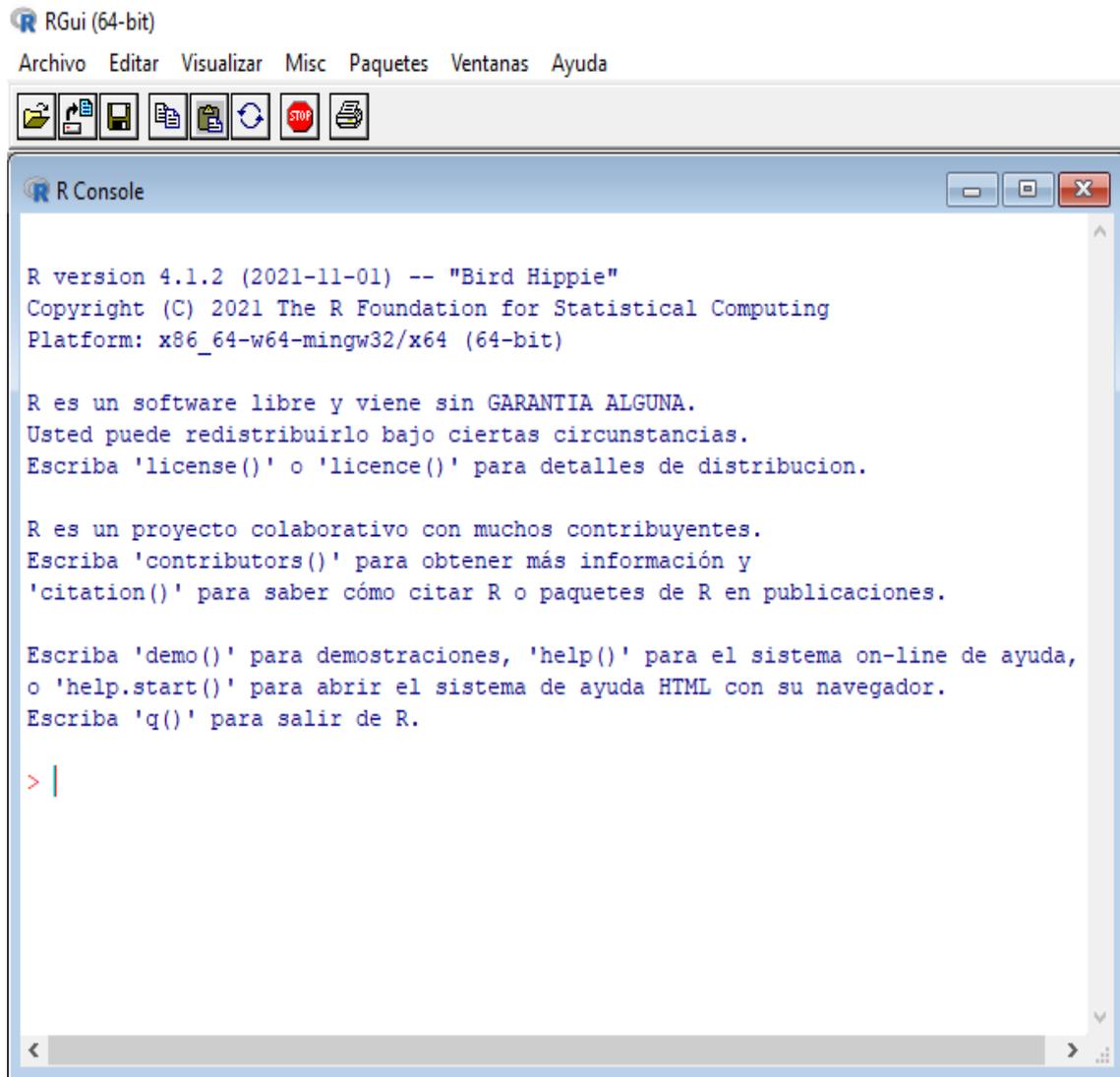
\_\_\_\_\_

Sí

No

GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN

## ANEXO 5: INTERFAZ DEL PROGRAMA ESTADÍSTICO R



## ANEXO 6: SCRIPT O CÓDIGO FUENTE DEL ANÁLISIS DE SUPERVIVENCIA

```
sslife <- function(data, tiempos = c(0, 24, 72, 120, 240, 360, 480), codiresp =
      c("SI", "NO"),model="weibull",percent=c(10,25,50))
{
  library(survival)
  totalcases <- dim(data)[1]
  casesdata <- cbind(1:totalcases, data)
  casesok <- casesdata[, 1][data[, 2] == codiresp[1]]
  numindok <- length(casesok)
  numtimes <- length(tiempos)
  id <- data[casesok, 1]
  respcod <- data[casesok, 2:dim(data)[2]]
  respnum <- matrix(rep(1, numindok * numtimes), ncol = numtimes)

  print("ok")
  respnum[respcod == codiresp[2]] <- 0
  ti <- rep(tiempos[1], numindok)

  ts <- rep(tiempos[numtimes], numindok)
  cens <- rep("interval", numindok)
  censcod <- rep(3, numindok)
  for(i in 1:numindok) {
    if(respnum[i, numtimes] == 1) {
      ti[i] <- tiempos[numtimes]
      ts[i] <- tiempos[numtimes]
      cens[i] <- "right"
      censcod[i] <- 0
    }
    else {
      inf <- 1
      while(respnum[i, inf + 1] == 1) inf <- inf + 1
      sup <- numtimes
      while(respnum[i, sup - 1] == 0) sup <- sup - 1
      if(inf == 1) {
        ti[i] <- tiempos[sup]
        ts[i] <- tiempos[sup]
        cens[i] <- "left"
        censcod[i] <- 2
      }
      else {
        ti[i] <- tiempos[inf]
        ts[i] <- tiempos[sup]
      }
    }
  }
  prop<-percent/100
  pp1<-data.frame(id, ti, ts, cens, censcod)
  pp2<-survreg(Surv(ti,ts,censcod,type="interval")~1,dist=model)
```

```

pp4<-predict(pp2,newdata=data.frame(1),type = "uquantile", p =
      prop, se.fit = T)
ci3 <- cbind(pp4$fit,pp4$fit - 1.96 * pp4$se.fit,pp4$fit + 1.96 *
      pp4$se.fit)
if (model=="weibull"|model=="lognormal"|model=="loglogistic"|model=="
      exponential") {
  ci3 <- exp(ci3)
  pp4$se.fit<-pp4$se.fit*ci3[,1]}
ci2<-cbind(ci3,pp4$se.fit)
mu <- c(pp2$coefficients,pp2$coefficients - 1.96 * sqrt(pp2$var[1,1]),
      pp2$coefficients + 1.96 * sqrt(pp2$var[1,1]))
if (model=="exponential") {
  sigma<-c(NA,NA,NA)}
else {
  si<-exp(pp2$icoef[2])
  sigma<-c(si,exp(log(si)-1.96*sqrt(pp2$var[2,2])),exp(log(si)+1.96*
      sqrt(pp2$var[2,2])))
}
dimnames(ci2) <- list(percent, c("Estimate","Lower ci", "Upper ci",
      "Serror"))
value<-c("estimate","lower","upper")
list(censdata=pp1,musig=data.frame(value,mu,sigma),loglike=-
      pp2$loglik[1],slives=ci2)
}

```

FUENTE: Hough (2010)

**ANEXO 7: SCRIPT O CÓDIGO FUENTE DEL MODELO ARRHENIUS-  
WEIBULL DE LA FUNCIÓN DE FALLA ACELERADA**

```

sslcov <- function(daten,predict=1,model="weibull",percent=c(10,25,50))
{
  library(survival)
  prop<-percent/100
  kel<-daten[,6]
  pp2<-survreg(Surv(daten[,2],daten[,3],daten[,5],type="interval")
    ~kel ,data=daten,dist=model)
  newkel<-predict
  pp4<-predict(pp2,newdata=list(kel=newkel),type = "uquantile",
    p = prop, se.fit = T)
  ci3 <- cbind(pp4$fit,pp4$fit - 1.96 * pp4$se.fit,pp4$fit + 1.96 *
    pp4$se.fit)
  If
  (model=="weibull"|model=="lognormal"|model=="loglogistic"|model=="
  "exponential") {
    ci3 <- exp(ci3)
    pp4$se.fit<-pp4$se.fit*ci3[,1]}
  ci2<-cbind(ci3,pp4$se.fit)
  beta0 <- c(pp2$coefficients[1],pp2$coefficients[1] - 1.96 *
    sqrt(pp2$var[1,1]),pp2$coefficients[1] + 1.96 * sqrt(pp2$var[1,1]))
  beta1<-c(pp2$coefficients[2],pp2$coefficients[2] - 1.96 *
    sqrt(pp2$var[2,2]),pp2$coefficients[2] + 1.96 * sqrt(pp2$var[2,2]))
  if (model=="exponential") {
    sigma<-c(NA,NA,NA)}
  else {
    sigma<-c(pp2$scale,exp(log(pp2$scale)-1.96*sqrt(pp2$var[3,3])),
    exp(log(pp2$scale)+1.96*sqrt(pp2$var[3,3])))
  }
  dimnames(ci2) <- list(Percent=percent,c("Estimate", "Lower ci",
    "Upper ci", "Serror"))
  value<-c("estimate", "lower", "upper")
  chiprob<-(1-pchisq(-2*(pp2$loglik[1]-pp2$loglik[2]),1))*100
  list(musig=data.frame(value,beta0,sigma,beta1),loglike=
    -pp2$loglik,chiprob100=chiprob,predict.for=predict,slives=ci2)
}

```

FUENTE: Hough (2010)

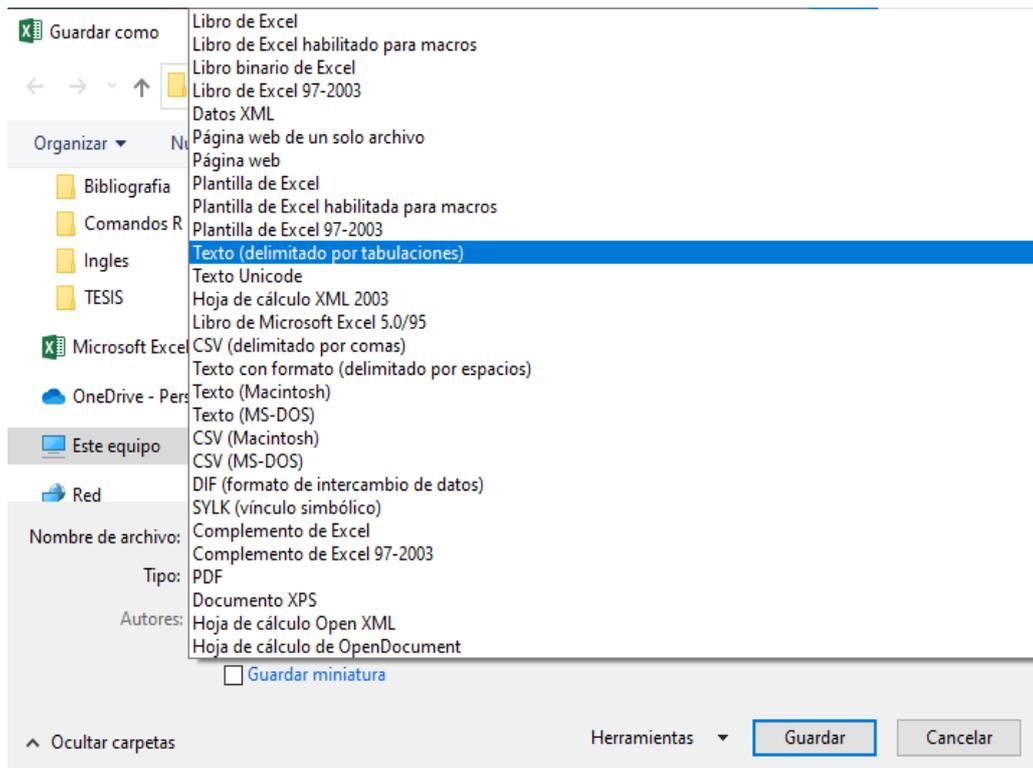
## ANEXO 8: PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LOS CÁLCULOS DE ESTIMACIÓN DE VIDA ÚTIL SENSORIAL CON EL PROGRAMA ESTADÍSTICO R

1° Se creó una carpeta principal de trabajo en el escritorio donde se guardaron todos los archivos que se utilizaron, para este caso se llamó la carpeta como “*VUS encurtido ají charapita*” y dentro de esta se crearon dos subcarpetas más llamadas “*Laminado*” y “*Polietileno de baja densidad*”. En cada subcarpeta se creó carpetas adicionales con nombres de las temperaturas que se trabajó en el plan de almacenamiento de cada envase.

2° Los datos recopilados de la evaluación sensorial (respuestas de los consumidores) fueron colocados en una hoja Excel, tal como se muestra de ejemplo la temperatura de 30°C del envase laminado, la cual tiene como tiempos de almacenamiento (t0, t24, t72, t120, t240, t360, t480). Esto se realizó para cada temperatura y cada archivo generado se guardó en la subcarpeta que le corresponde con el nombre de **encurtido** junto con el **número** de su temperatura, en este caso fue **encurtido30** y se colocó dentro de la carpeta de **30°C**.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	C	t0	t24	t72	t120	t240	t360	t480
2	1	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
3	2	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
4	3	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO
5	4	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO
6	5	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
7	6	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
8	7	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI
9	8	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
10	9	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
11	10	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI
12	11	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
13	12	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
14	13	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
15	14	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
16	15	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
17	16	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
18	17	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI
19	18	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
20	19	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI
21	20	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
22	21	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
23	22	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
24	23	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO

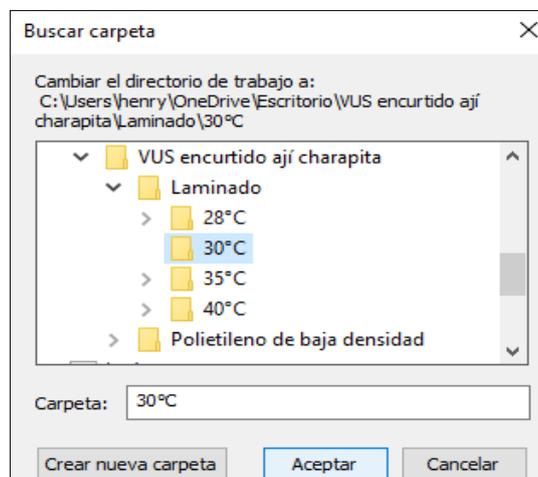
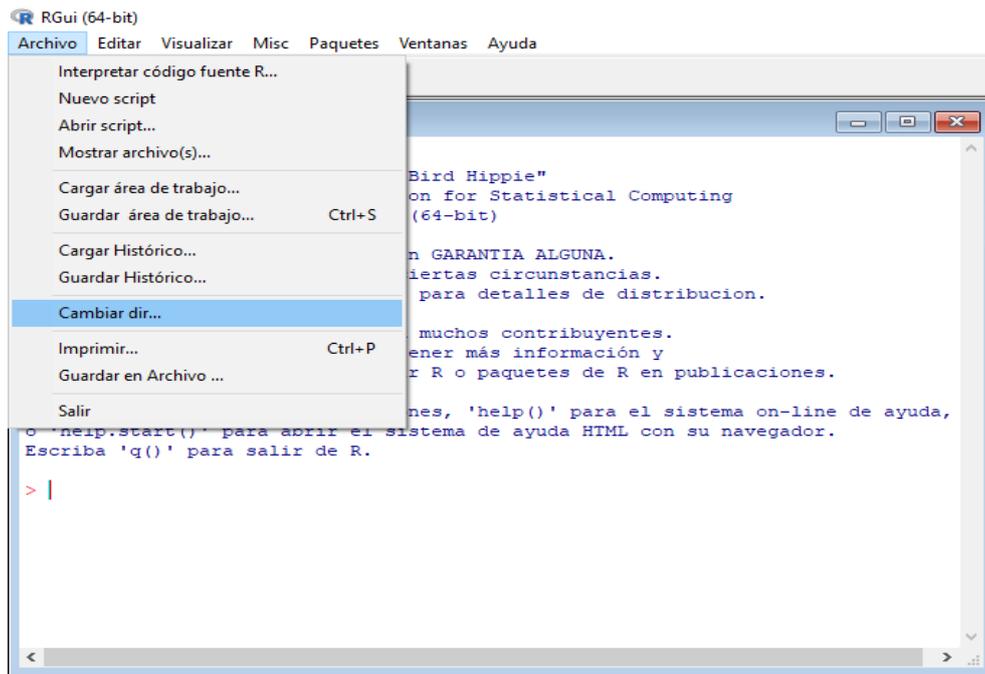
3° Se guardó el archivo anterior con el formato “texto delimitado por tabulaciones” en la subcarpeta “**30°C**” con el mismo nombre anterior (en este caso fue “**encurtido30**” tomando como ejemplo la temperatura 30°C). Este paso se repitió para cada temperatura de almacenamiento. A continuación se muestra la forma como se guardó el archivo de acuerdo al formato deseado, ya que de esta manera el programa R pudo leer la data.



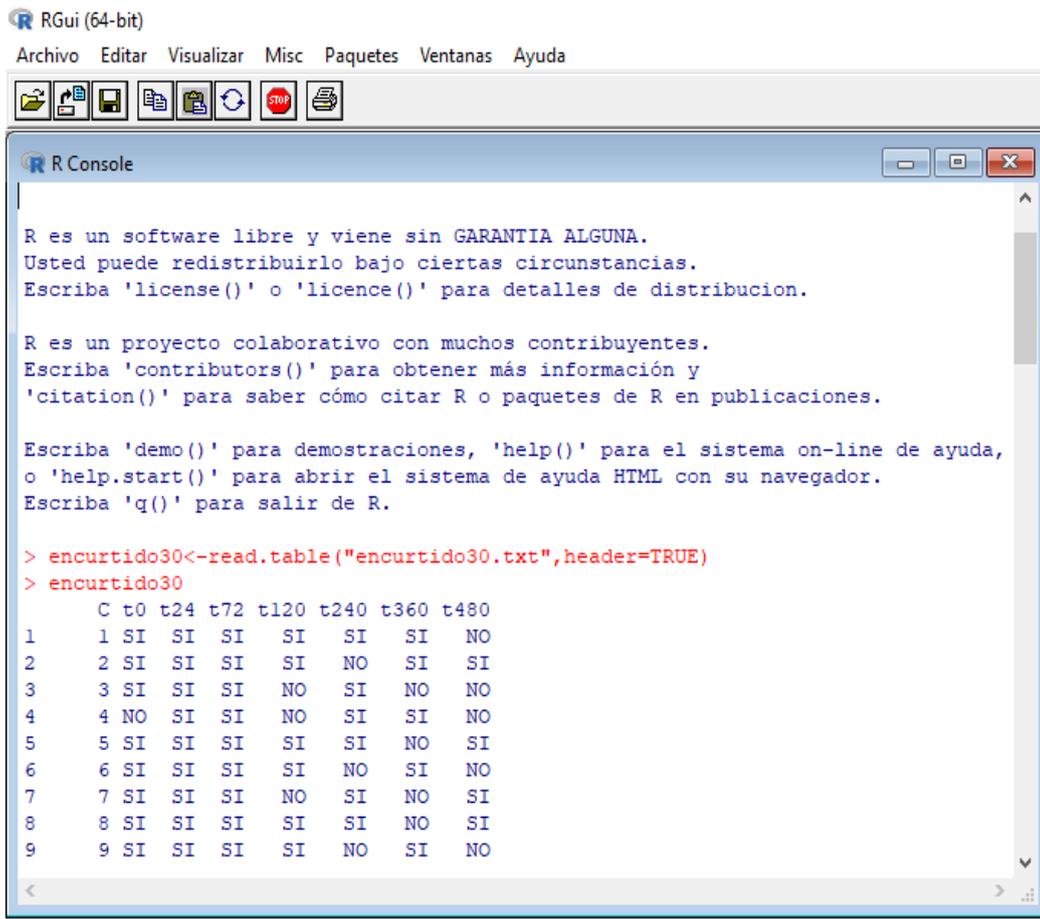
4° Se abrió un block de notas de Windows y se escribió el *script* o código fuente mostrado en el Anexo 6, se guardó este archivo con el nombre de **sslife30.R** (esta extensión **.R** es leído por el software R). Se repitió este paso para cada temperatura, cambiando solamente la parte inicial del código fuente (parte sombreada) según los tiempos establecidos para cada temperatura, siendo en esta investigación los tiempos de almacenamiento diferentes para cada temperatura. Como resultado se obtuvieron los archivos **sslife28.R**, **sslife30.R**, **sslife35.R** y **sslife40.R** (archivos utilizados para esta investigación) y cada uno de estos se colocó en la subcarpeta de temperatura que le corresponde.

```
sslife <- function(data, tiempos = c(0, 24, 72, 120, 240, 360, 480), codiresp =
c("SI", "NO"), model="weibull", percent=c(10,25,50))
```

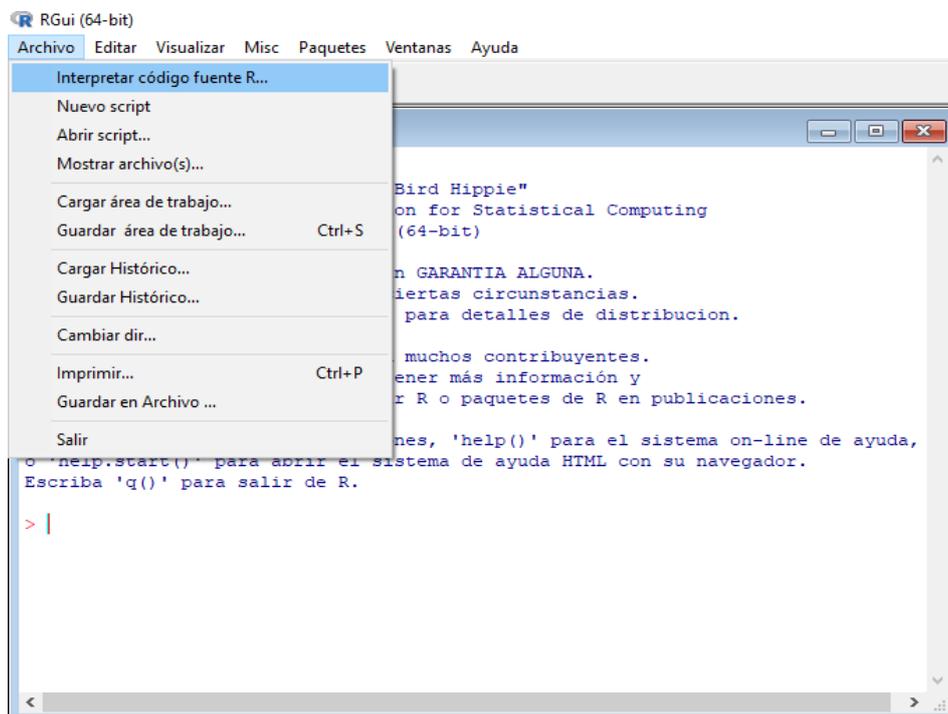
5° Se abrió el programa R, en la barra de Menú se presionó el botón Archivo, luego “Cambiar dir....”, para cambiar el directorio de trabajo, se buscó la carpeta escogida anteriormente (“*VUS encurtido ají charapita*” del Paso 1) y se seleccionó la subcarpeta de temperatura que se está trabajando en el momento, en este caso se utilizó la subcarpeta de 30°C del envase laminado tal y como se muestra a continuación.

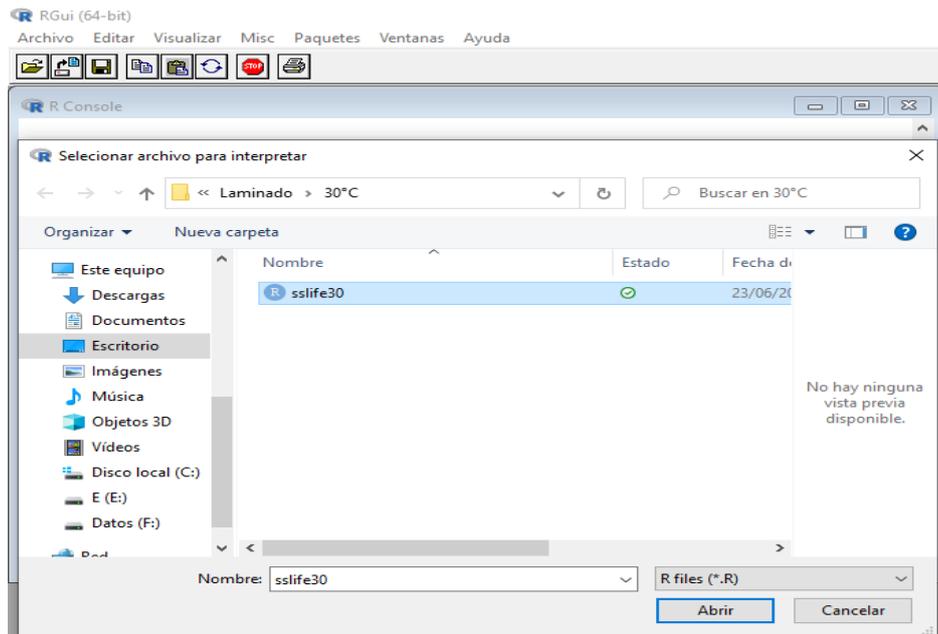


6° Desde este paso se comienza a trabajar con los comandos para la temperatura de 30°C del envase laminado como ejemplo, para otras temperaturas los comandos son los mismos pero con el nombre escogido del Paso 3. En la consola principal se escribió el comando **encurtido30<-read.table("encurtido30.txt",header=TRUE)** y se presionó ENTER. Luego se escribió el comando **encurtido30** y se volvió a presionar ENTER, dando como resultado el despliegue de la tabla leída para la temperatura de 30°C del envase laminado. Para escribir todos los comandos se tuvo mucho cuidado que no fuese modificado, ya que cualquier cambio en las letras, símbolos, espacios o números produce una falla muy común de digitación. Por ejemplo, las comillas se suelen alterar cuando se copia y pega en la consola, esto genera un error muy frecuente al momento de procesar los datos, es por ello que se recomienda digitarlo de forma manual.



7° En la barra de Menú se buscó el botón Archivo y se presionó la celda “Interpretar código fuente R...”. A continuación se seleccionó el archivo **sslife30.R**





8° Luego se digitó el comando `resencurtido30 <- sslife(encurtido30, model= "weibull")`, donde el programa aceptó la orden con un “ok”.

```
> source("C:\\Users\\henry\\OneDrive\\Escritorio\\VUS encurtido aji charapita\\$
> resencurtido30 <- sslife(encurtido30, model= "weibull")
[1] "ok"
> |
```

9° A continuación se escribió la instrucción `resencurtido30$censdata` para mostrar la censura de los panelistas. Con este comando se hallaron todos los datos censurados.

```
RGui (64-bit)
Archivo Editar Visualizar Misc Paquetes Ventanas Ayuda

R Console

93  93 SI  SI  SI  SI  NO  NO  NO
94  94 SI  SI  SI  SI  SI  SI  SI
95  95 SI  SI  NO  SI  NO  SI  SI
96  96 SI  SI  SI  SI  SI  NO  NO
97  97 SI  SI  SI  SI  SI  SI  SI
98  98 NO  NO  SI  SI  NO  NO  NO
99  99 SI  SI  SI  SI  SI  SI  NO
100 100 SI  SI  SI  SI  SI  SI  SI

> source("C:\\Users\\henry\\OneDrive\\Escritorio\\VUS encurtido aji charapita\\$
> resencurtido30 <- sslife(encurtido30, model= "weibull")
[1] "ok"
> resencurtido30$censdata
  id  ti  ts  cens censcod
1   1 360 480 interval    3
2   2 480 480 right      0
3   3  72 360 interval    3
4   5 480 480 right      0
5   6 120 480 interval    3
6   7 480 480 right      0
7   8 480 480 right      0
8   9 120 480 interval    3
9  10 480 480 right      0
10  11 480 480 right      0
11  12 360 480 interval    3
12  13 480 480 right      0
```

10° Luego de la nueva data obtenida del paso anterior (datos censurados de 30°C) se trasladó en una hoja Excel con nombre “*cens*” y esta fue colocada dentro de la subcarpeta “*Laminado*” de la carpeta principal “*VUS encurtido de ají charapita*”. Los datos que se obtuvieron de las demás temperaturas, se copiaron exactamente debajo de los resultados de la temperatura anterior; es decir, primero se comenzó con los datos censurados de 28°C, luego la de 30°C, 35°C y 40°C. En este paso sólo se consideró las siguientes columnas: **id**, **ti**, **ts**, **cens** y **censcod**, y al momento que se transfirieron los datos debajo de cada columna fue de forma correlacionada para al final tener solo un bloque.

	A	B	C	D	E
1	id	ti	ts	cens	censcod
2	1	480	600	interval	3
3	2	600	600	right	0
4	3	600	600	right	0
5	4	120	600	interval	3
6	5	600	600	right	0
7	6	600	600	right	0
8	7	120	600	interval	3
9	9	360	480	interval	3
10	10	600	600	right	0
11	11	600	600	right	0
12	12	240	360	interval	3
13	13	600	600	right	0
14	14	120	600	interval	3
15	15	240	600	interval	3
16	16	72	600	interval	3
17	17	600	600	right	0
18	18	600	600	right	0
19	19	120	480	interval	3
20	20	480	600	interval	3
21	21	360	480	interval	3
22	22	72	480	interval	3
23	23	72	600	interval	3
24	24	120	480	interval	3

11° Se escribió la instrucción **resencurtido30\$musig** para obtener los parámetros mu ( $\mu$ ) y sigma ( $\sigma$ ) con sus diferentes intervalos de confianza. Estos valores encontrados se copiaron en una nueva hoja Excel llamada “*Parámetros y Vida útil*”.

12° Luego se escribió la instrucción **resencurtido30\$slives** para obtener la vida útil estimada (a la temperatura de 30°C en este ejemplo), para 10 %, 25 % y 50 % de rechazo el cual fue parte del objetivo de esta investigación. Tener en cuenta que si se quiere cambiar los porcentajes de rechazo (en caso se requiera para otras investigaciones), solo se debe cambiar los números en el *script* o código fuente del Anexo 6 que se encuentra como percent=c(10,25,50). Los valores encontrados se copiaron en la hoja Excel del paso anterior.

```

RGui (64-bit)
Archivo Editar Visualizar Misc Paquetes Ventanas Ayuda

R Console
82 86 480 480 right 0
83 87 480 480 right 0
84 88 480 480 right 0
85 89 480 480 left 2
86 90 480 480 right 0
87 91 72 120 interval 3
88 92 240 360 interval 3
89 93 120 240 interval 3
90 94 480 480 right 0
91 95 480 480 right 0
92 96 240 360 interval 3
93 97 480 480 right 0
94 99 360 480 interval 3
95 100 480 480 right 0
> resencurtido30$musig
  value      mu      sigma
1 estimate 6.342193 0.4443273
2  lower 6.195811 0.3209298
3  upper 6.488575 0.6151710
> resencurtido30$slives
 Estimate Lower ci Upper ci Serror
10 208.9915 157.1740 277.8923 30.38268
25 326.5575 275.9421 386.4571 28.05976
50 482.6739 424.1071 549.3286 31.85535
> |

```

13° Para hallar la vida útil de todas las temperaturas de almacenamiento se repitió todos los pasos desde el número 6. Se logró encontrar todos los valores de vida útil para cada temperatura y se trasladaron en la hoja Excel del Paso 11 para seguir un orden.

14° En la hoja Excel donde se colocaron los datos censurados (*cens*) de cada temperatura de almacenamiento, se adicionó 2 columnas a la derecha llamadas **1/T (K)** y **T (°C)** (temperatura en Kelvin y Celsius) de forma correlacionada (28°C, 30°C, 35°C y 40°C) como se explicó en el Paso 10. Se consideró la fórmula  $1/T(K) = 1/(273.15 + T\text{ }^{\circ}\text{C})$  para la columna **1/T (K)**

	A	B	C	D	E	F	G
1	id	ti	ts	cens	censcod	1/T(K)	T(°C)
2	1	480	600	interval	3	0.0033206	28
3	2	600	600	right	0	0.0033206	28
4	3	600	600	right	0	0.0033206	28
5	4	120	600	interval	3	0.0033206	28
6	5	600	600	right	0	0.0033206	28
7	6	600	600	right	0	0.0033206	28
8	7	120	600	interval	3	0.0033206	28
9	9	360	480	interval	3	0.0033206	28
10	10	600	600	right	0	0.0033206	28
11	11	600	600	right	0	0.0033206	28
12	12	240	360	interval	3	0.0033206	28
13	13	600	600	right	0	0.0033206	28
14	14	120	600	interval	3	0.0033206	28
15	15	240	600	interval	3	0.0033206	28
16	16	72	600	interval	3	0.0033206	28
17	17	600	600	right	0	0.0033206	28
18	18	600	600	right	0	0.0033206	28
19	19	120	480	interval	3	0.0033206	28
20	20	480	600	interval	3	0.0033206	28
21	21	360	480	interval	3	0.0033206	28
22	22	72	480	interval	3	0.0033206	28
23	23	72	600	interval	3	0.0033206	28
24	24	120	480	interval	3	0.0033206	28

15° Se guardó el archivo anterior con el formato de “texto delimitado por tabulaciones” para este caso se nombró con el nombre “*cens*” y se colocó dentro de la subcarpeta llamada “*laminado*” de la carpeta principal “*VUS encurtido de ají charapita*”.

16° Luego se cambió la dirección de trabajo con la opción “Cambiar dir...” de la barra de Menú y se seleccionó la subcarpeta “*Laminado*”.

17° Se escribió en la consola la instrucción `cens<-read.table("cens.txt",header=TRUE)` y se presionó ENTER. Luego se escribió el comando `cens` y se volvió a presionar ENTER, desplegando la tabla de todos los datos censurados leídos para el envase laminado.

18° Se procedió abrir un block de notas y se copió el *script* o código fuente del Anexo 7, se guardó como `sslcov.R` y se colocó dentro de la subcarpeta “*Laminado*”. Luego en la consola de R, en la barra Menú se hizo click en Archivo y se presionó “Interpretar código fuente R...”, seleccionando el archivo `sslcov.R`.

19° Luego se escribió la instrucción `rescens<-sslcov(cens, predict=0.003354016, model="weibull")` y se presionó ENTER. El valor de 0.003354016 es la inversa de 298.15 K (25°C), que es la temperatura que se desea estimar y que corresponde al objetivo de la investigación.

20° Se escribió la instrucción `rescens$musig` para obtener los parámetros del modelo de Arrhenius-Weibull o también llamadas covariables cuantitativas de la función de rechazo. El parámetro `beta1` es igual a la relación  $E_a/R$ , donde  $E_a$  es la energía de activación y  $R$  la constante de los gases ideales (8.314 J/mol.K), por lo tanto, se puede hallar el valor de  $E_a$ . Estos valores se trasladaron en la hoja Excel “*Parámetros y Vida útil*”

```
> source("C:\\Users\\henry\\OneDrive\\Escritorio\\VUS encurtido ají charapita\\$
> rescens<-sslcov(cens, predict=0.003354016, model="weibull")
> rescens$musig
  value  beta0  sigma  beta1
1 estimate -16.98891 0.5093148 7090.658
2 lower -21.81702 0.4338240 5611.719
3 upper -12.16080 0.5979418 8569.597
> |
```

21° Se escribió el comando **rescens\$loglike** para obtener los valores de verosimilitud del modelo de Arrhenius-Weibull (modelo con restricciones) y del modelo sin restricciones de cada temperatura. Con estos datos se puede calcular la prueba estadística de chi-cuadrado y con ayuda de los grados de libertad se tabula el valor del nivel de significancia en una tabla de distribución de chi-cuadrado.

```
> rescens$loglike
[1] 434.9293 405.7626
```

22° Se escribió la instrucción **rescens\$chiprob100** para obtener directamente el valor del nivel de significancia de la prueba de chi-cuadrado con el fin de comprobar el ajuste de tendencia de supervivencia en ambos envases.

```
> rescens$chiprob100
[1] 2.209344e-12
```

23° Finalmente, se escribió la instrucción **rescens\$slives** para predecir el tiempo de vida útil estimado a la temperatura deseada (25°C en este caso) con sus respectivos intervalos de confianza a los percentiles 10, 25 y 50. Estos valores se copiaron en la carpeta “*Parámetros y Vida útil*” y se repitieron todos los pasos anteriores para estimar la vida útil a 25°C para el envase de polietileno de baja densidad.

```
> rescens$slives
Percent Estimate Lower ci Upper ci  Serror
10 283.4744 229.9810 349.4101 30.24567
25 472.8187 401.5419 556.7477 39.41767
50 739.9603 636.1559 860.7028 57.06482
> |
```

## ANEXO 9: MÉTODO PARA HALLAR LA ENERGÍA DE ACTIVACIÓN Y LA PRUEBA CHI-CUADRADO

Para calcular el valor de la energía de activación ( $E_a$ ) del modelo de Arrhenius, se tuvo que encontrar el parámetro  $\beta_1$  que es igual al valor de  $E_R$ , luego se utilizó la siguiente relación:

$$E_R = \frac{E_a}{R}$$

Donde  $E_R$  el cual es la relación de la energía de activación ( $E_a$ ) y la constante de los gases ( $R = 8.314 \text{ J/mol.K}$ ). El valor de la energía de activación nos ayuda a conocer cuál es la energía mínima necesaria para que ocurran los eventos de interés (cambio de coloración).

Por otra parte, para comprobar el ajuste de tendencia del modelo Arrhenius-Weibull (también llamado modelo con restricciones) se utilizó el estadístico de prueba propuesto por Meeker et al. (2022). Este método consistió en realizar una prueba de significancia para comparar los ajustes individuales de cada temperatura con el ajuste del modelo Arrhenius-Weibull. Estos autores mencionan que en valores absolutos, la probabilidad total del modelo sin restricciones siempre será menor que la probabilidad logarítmica del modelo restringido. Esta comparación se puede realizar con una prueba de razón de verosimilitud; es decir, la suma de las verosimilitudes individuales del ajuste de cada temperatura es la verosimilitud del modelo sin restricciones:  $L_{\text{modelo sin restricciones}} = L_{28} + L_{30} + L_{35} + L_{40}$ .

Luego se calculó el valor de la verosimilitud del modelo con restricciones tal como se muestra en el Paso 21 del Anexo 8:  $L_{\text{modelo con restricciones}}$

Finalmente, el valor de la probabilidad de chi-cuadrado proviene del test estadístico:  $Q = 2 (L_{\text{modelo con restricciones}} - L_{\text{modelo sin restricciones}})$

Los grados de libertad (g.l) provienen de la diferencia entre los 8 parámetros encontrados del modelo sin restricciones ( $\mu$  y  $\sigma$  de las 4 temperaturas de trabajo) y los 3 parámetros calculados del modelo con restricciones ( $\beta_0$ ,  $\sigma$  y  $\beta_1$ ). Con el estadístico de prueba y los grados de libertad se pudo calcular el valor nivel de significancia en una tabla de distribución de chi-cuadrado. Sin embargo, el programa R nos muestra directamente los valores de significancia al ejecutar los comandos adecuados tal como se muestra en el paso 22 del Anexo 8.

**ANEXO 10: RESPUESTAS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL REALIZADA A LAS MUESTRAS DE ENCURTIDO DE AJÍ  
CHARAPITA DEL ENVASE LAMINADO A LAS TEMPERATURAS 28°C Y 30°C**

Panelista	Tratamiento															
	28°C								30°C							
	0 h	24 h	72 h	120 h	240 h	360 h	480 h	600 h	0 h	24 h	72 h	120 h	240 h	360 h	480 h	
1	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	
2	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	
3	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	
4	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO	
5	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	
6	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	
7	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	
8	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	
9	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	
10	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	
11	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	
12	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	
13	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	
14	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	
15	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	
16	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	
17	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	
18	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	
19	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	
20	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	
21	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	
22	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	
23	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	
24	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	
25	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	
26	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	
27	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	
28	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	
29	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	

<<continuación>>

30	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
31	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
32	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
33	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO						
34	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
35	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
36	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI						
37	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO
38	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
39	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
40	SI	SI	SI	NO	SI										
41	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
42	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
43	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
44	SI	NO	SI												
45	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO
46	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
47	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
48	SI	NO	SI	SI	SI										
49	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
50	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
51	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI								
52	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO
53	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI
54	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
55	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
56	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO
57	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
58	NO	SI	NO	SI	NO										
59	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI						
60	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI						
61	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
62	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
63	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
64	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	SI							

<<continuación>>

65	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI
66	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
67	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI
68	SI	NO	NO	NO	NO										
69	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI						
70	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI						
71	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO
72	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
73	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
74	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO						
75	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
76	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO						
77	SI	NO	SI												
78	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI
79	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
80	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
81	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI						
82	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO							
83	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
84	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI
85	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
86	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI						
87	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI							
88	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI
89	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
90	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
91	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO
92	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
93	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
94	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI						
95	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI
96	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO								
97	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI						
98	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
99	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO						
100	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	SI						

**ANEXO 11: RESPUESTAS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL REALIZADA A LAS MUESTRAS DE ENCURTIDO DE AJÍ  
CHARAPITA DEL ENVASE LAMINADO A LAS TEMPERATURAS 35°C Y 40°C**

Panelista	Tratamiento										
	35°C					40°C					
	0 h	24 h	72 h	120 h	240 h	360 h	0 h	24 h	72 h	120 h	240 h
1	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
2	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO
3	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	SI	SI	NO
4	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO
5	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO
6	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
7	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
8	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO
9	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
10	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	NO
11	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI
12	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI
13	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
14	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	NO
15	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI
16	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
17	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
18	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
19	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
20	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
21	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
22	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
23	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
24	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI
25	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
26	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
27	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
28	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO

<<continuación>>

29	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
30	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
31	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI
32	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
33	SI	NO									
34	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
35	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
36	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
37	SI	NO	NO	NO	NO						
38	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI
39	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO
40	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
41	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO
42	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO
43	SI	SI	NO	SI							
44	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
45	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
46	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
47	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO
48	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
49	SI	NO	NO	SI	SI						
50	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
51	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
52	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
53	SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI
54	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI
55	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO
56	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
57	SI	NO	NO	SI	NO						
58	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
59	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
60	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
61	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI
62	SI										
63	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
64	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI

<<continuación>>

65	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI
66	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
67	SI	NO									
68	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI
69	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO
70	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
71	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
72	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	NO
73	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO
74	SI	NO	NO								
75	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI
76	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
77	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
78	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
79	SI										
80	SI	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
81	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI
82	SI	NO	SI	SI							
83	SI	SI	NO	NO	SI						
84	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO
85	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
86	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
87	SI										
88	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO
89	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
90	SI	NO	SI	NO	SI						
91	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO
92	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
93	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
94	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
95	SI	NO									
96	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
97	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
98	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI
99	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
100	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI

**ANEXO 12: RESPUESTAS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL REALIZADA A LAS MUESTRAS DE ENCURTIDO DE AJÍ  
CHARAPITA DEL ENVASE DE POLIETILENO A LAS TEMPERATURAS 28°C Y 30°C**

Panelista	Tratamiento									
	28°C					30°C				
	0 h	24 h	72 h	120 h	168 h	0 h	24 h	72 h	96 h	120 h
1	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI
2	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
3	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO
4	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI
5	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI
6	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
7	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
8	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
9	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
10	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI
11	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
12	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI
13	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
14	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
15	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
16	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
17	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
18	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
19	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
20	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
21	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
22	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
23	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
24	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO
25	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
26	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI
27	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
28	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO

<<continuación>>

---

29	SI	SI	NO	SI						
30	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
31	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
32	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI
33	SI	NO	NO							
34	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
35	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
36	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
37	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
38	SI	NO	SI							
39	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
40	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
41	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
42	SI	NO	SI	SI						
43	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
44	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
45	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
46	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
47	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
48	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI
49	SI	NO								
50	SI	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
51	SI									
52	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
53	SI									
54	SI									
55	SI									
56	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
57	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
58	SI	NO	NO	NO						
59	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
60	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
61	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO
62	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
63	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
64	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	SI

<<continuación>>

---

65	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI
66	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO	NO
67	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
68	SI	SI	NO	SI						
69	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO
70	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
71	SI	NO	NO	NO						
72	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO
73	SI	SI	SI	NO						
74	SI	NO	NO	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO
75	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
76	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
77	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO
78	SI	NO								
79	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
80	SI	NO	NO	NO						
81	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
82	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
83	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI
84	SI	SI	NO	SI						
85	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
86	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
87	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
88	SI	NO	NO							
89	SI	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
90	SI									
91	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
92	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
93	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	NO
94	SI									
95	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO
96	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO
97	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
98	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
99	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
100	SI	SI	NO	SI						

---

**ANEXO 13: RESPUESTAS DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL REALIZADA A LAS MUESTRAS DE ENCURTIDO DE AJÍ  
CHARAPITA DEL ENVASE DE POLIETILENO A LAS TEMPERATURAS 35°C Y 40°C**

Panelista	Tratamiento									
	35°C					40°C				
	0 h	24 h	48 h	72 h	120 h	0 h	24 h	48 h	72 h	96 h
1	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
2	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
3	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI
4	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO
5	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
6	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO
7	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
8	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
9	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
10	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
11	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI
12	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI
13	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO
14	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO
15	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO
16	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO
17	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO
18	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
19	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
20	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
21	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO
22	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
23	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
24	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO
25	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
26	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
27	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
28	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO

<<continuación>>

---

29	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO
30	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO
31	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO
32	SI	NO	SI	NO						
33	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
34	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO
35	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
36	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
37	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO
38	SI									
39	SI									
40	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
41	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
42	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	NO	NO
43	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
44	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	NO
45	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
46	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI
47	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO
48	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
49	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
50	SI									
51	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO
52	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
53	SI	SI	NO	SI						
54	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO	NO
55	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO
56	SI	NO	SI	NO						
57	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO
58	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
59	SI	NO	NO							
60	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO
61	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	NO
62	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
63	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
64	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO

<<continuación>>

---

65	SI	NO								
66	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI
67	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO	SI	NO
68	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
69	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
70	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO
71	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
72	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
73	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
74	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
75	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	NO	NO
76	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO
77	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
78	SI	NO								
79	NO	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI
80	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
81	SI	NO	SI	NO						
82	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO
83	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
84	SI	NO								
85	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI	SI	NO	SI
86	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO
87	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
88	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI
89	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO	SI	SI
90	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
91	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI
92	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI	NO
93	SI	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI
94	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI
95	NO	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI
96	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI
97	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI
98	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO
99	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
100	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI

---

## ANEXO 14: RESULTADOS DE ACIDEZ TITULABLE, pH E ÍNDICE DE COLOR

### Acidez Titulable

Laminado				Polietileno			
28°C	30°C	35°C	40°C	28°C	30°C	35°C	40°C
2.102	2.042	1.922	1.862	2.102	1.621	1.321	0.901
2.282	2.102	1.862	1.741	2.222	1.561	1.381	0.781
2.162	2.162	1.922	1.802	2.282	1.561	1.261	0.871

### pH

Laminado				Polietileno			
28°C	30°C	35°C	40°C	28°C	30°C	35°C	40°C
3.7	3.6	3.6	3.5	3.8	3.7	3.5	3.37
3.68	3.7	3.58	3.55	3.78	3.65	3.4	3.36
3.69	3.7	3.58	3.52	3.78	3.7	3.5	3.38

### Índice de color

Laminado				Polietileno			
28°C	30°C	35°C	40°C	28°C	30°C	35°C	40°C
4.223	3.906	3.68	3.665	3.927	3.514	3.078	2.786
4.352	4.078	3.98	3.661	4.067	3.422	3.041	2.688
4.448	4.1	4.072	3.71	3.936	3.181	3.117	2.612