

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre el índice de pardeamiento, firmeza y aceptación de palta (*Persea americana* Mill) variedad Fuerte en cubos congelada

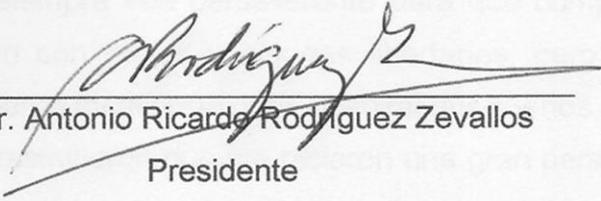
TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

CHRISTIAN MENDOZA MOSTACERO

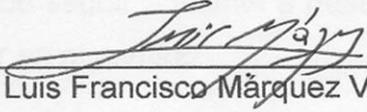
TRUJILLO, PERÚ

2019

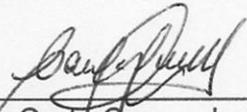
La presente tesis ha sido revisada y aprobada por el siguiente Jurado:



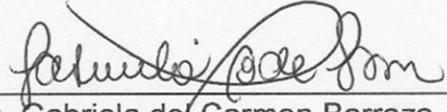
Ing. Dr. Antonio Ricardo Rodríguez Zevallos
Presidente



Ing. Ms. Luis Francisco Márquez Villacorta
Secretario



Ing. Ms. Carla Consuelo Pretell Vásquez
Vocal



Ing. Ms. Gabriela del Carmen Barraza Jáuregui
Asesor

DEDICATORIA

A mis padres Georgina y Ramón por haberme apoyado en todo momento, quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante para que cumpla con mis ideales. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final de cuentas siempre supieron motivarme para alcanzar mis sueños, gracias por los valores que me transmitieron que me hicieron una gran persona hoy en día. Por su amor incondicional que me llevo a alcanzar una de mis metas que me propuse desde que inicié este difícil camino.

A mi hermana Francesca por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de seguir adelante a pesar de las dificultades que se me puedan presentar en el camino.

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme brindado la fortaleza física y mental para lograr mis objetivos.

A mis padres Georgina y Ramón porque siempre creyeron en mi capacidad, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado brindándome su comprensión, cariño y amor.

A mi hermana Francesca por todo el apoyo durante estos últimos años de vida.

Al Ing. Jesús Obregón por sus valiosos conocimientos, su buena disposición siempre para atender mis dudas, así como su paciencia y sus consejos para impulsar el desarrollo de este trabajo de investigación.

A la Ing. Ms. Gabriela del Carmen Barraza Jáuregui, por ser una gran asesora y magnífica persona, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia del mundo para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

A los Miembros del Jurado: Ing. Dr. Antonio Ricardo Rodríguez Zevallos, Ing. Ms. Luis Francisco Márquez Villacorta e Ing. Ms. Carla Consuelo Pretell Vásquez por sus acertadas observaciones en la evaluación de este trabajo de investigación y apoyo durante toda mi carrera profesional.

A todos los profesores que tuve a lo largo de mi carrera, gracias por la experiencia y conocimiento que me transmitieron.

Índice

	Página
CARÁTULA.....	i
PÁGINA DEL JURADO	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA	3
2.1. Palta.....	3
2.1.1. Definición.....	3
2.1.2. Variedades de palta.....	4
2.1.3. Composición química de la palta.....	5
2.2. Congelación de alimentos.....	6
2.2.1. Definición	7
2.3. Deterioro de alimentos.....	7
2.4. Métodos estadísticos aplicados a la determinación de la vida útil en alimentos	8
2.4.1. Tiempo de vida útil	8
2.4.2. Análisis de supervivencia.....	9
2.4.3. El modelo de Weibull, en estudios de vida útil de alimentos	13

2.5. Estudios acelerados	17
III. MATERIALES Y METODOS.....	18
3.1. Lugar de ejecución	18
3.2. Materiales y equipos.....	18
3.2.1. Materiales	18
3.2.2. Equipos.....	19
3.3. Método experimental de palta en cubos congelada.....	20
3.3.1. Esquema experimental de la investigación de palta en cubos congelada	20
3.3.2. Diagrama de flujo para la elaboración de palta en cubos congelados	21
3.4. Métodos de análisis	24
3.4.1. Preparación de las muestras para el análisis	24
3.4.2. Análisis sensorial	24
3.4.3. Color	25
3.4.4. Firmeza Instrumental	25
3.5. Método estadístico.....	26
3.5.1. Color y firmeza instrumental	26
3.5.2. Vida útil sensorial.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre el color de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	28
4.2. Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada	32

4.3. Vida útil de palta variedad Fuerte en cubos congelada	36
4.3.1. Color sensorial.....	36
4.3.2. Firmeza sensorial	41
V. CONCLUSIONES.....	48
VI. RECOMENDACIONES	49
VII. BIBLIOGRAFÍA	50
VIII.ANEXOS	57

ÍNDICE DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Composición nutricional de la palta (en 100 g de porción comestible)	6
Cuadro 2. Prueba de Levene modificada para los valores de índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	29
Cuadro 3. Análisis de varianza para índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	30
Cuadro 4. Prueba de Duncan para índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	31
Cuadro 5. Prueba de Levene modificada para los valores de firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	33
Cuadro 6. Análisis de varianza para firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	33
Cuadro 7. Prueba de Duncan para firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	35
Cuadro 8. Parámetros de escala (α) y forma (β) a temperaturas de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	36
Cuadro 9. Tiempo de vida útil estimado en días al 10, 25 y 50% de rechazo a temperatura de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada	37
Cuadro 10. Tiempo de vida útil estimado a condiciones habituales de almacenamiento congelado (-25 °C) en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	40
Cuadro 11. Parámetros de escala (α) y forma (β) a temperaturas de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada	42

Cuadro 12. Tiempo de vida útil estimado al 10, 25 y 50% de rechazo a temperatura de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	42
Cuadro 13. Tiempo de vida útil estimado a condiciones habituales de almacenamiento congelado (-25 °C) en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada	46
Cuadro 14. Parámetros de μ (μ) y sigma (σ) del modelo Weibull	75
Cuadro 15. Parámetros de forma (β) y de escala (α)	75

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Formas de la función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull	14
Figura 2. Esquema experimental para la estimación de vida útil de palta en cubos congelada	20
Figura 3. Diagrama de proceso para la preparación de palta en cubos congelada	21
Figura 4. Ficha de evaluación para la prueba sensorial de aceptación o rechazo para palta en cubos congelada	26
Figura 5. Índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada durante el almacenamiento acelerado.....	28
Figura 6. Firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada	32
Figura 7. Función supervivencia a -6 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	38
Figura 8. Función supervivencia a -12 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	38
Figura 9. Función supervivencia a -18 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	39
Figura 10. Tiempo de vida útil (días) en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	39
Figura 11. Función supervivencia a -6 °C en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada	43

Figura 12. Función supervivencia a -12 °C en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada	44
Figura 13. Función supervivencia a -18 °C en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada	44
Figura 14. Tiempo de vida útil (días) en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Aceptación y rechazo de color sensorial a -6 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	57
Anexo 2. Aceptación y rechazo de color sensorial a -12 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	58
Anexo 3. Aceptación y rechazo de color sensorial a -18 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	59
Anexo 4. Aceptación y rechazo de firmeza sensorial a -6 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	60
Anexo 5. Aceptación y rechazo de firmeza sensorial a -12 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	61
Anexo 6. Aceptación y rechazo de firmeza sensorial a -18 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	62
Anexo 7. Censura de color sensorial a -6 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	63
Anexo 8. Censura de color sensorial a -12 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	64
Anexo 9. Censura de color sensorial a -18 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	65
Anexo 10. Censura de firmeza sensorial a -6 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada	66
Anexo 11. Censura de firmeza sensorial a -12 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada	67
Anexo 12. Censura de firmeza sensorial a -18 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada	68

Anexo 13. Firmeza instrumental e índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada.....	69
Anexo 14. Cálculo de los Parámetros de forma (β) y de escala (α).....	75
Anexo 15. Determinación según tipo de censura de los consumidores....	77
Anexo 16. Pasos para determinación por vida útil en weibull en el programa estadístico R.....	78

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre el índice de pardeamiento, firmeza y aceptación de palta (*Persea americana* Mill) variedad Fuerte en cubos congelada. Se congeló las muestras en cubos a -25 °C; y se almacenó a -6, -12 y -18 °C para acelerar su deterioro durante 70 días (evaluados física y sensorialmente a los 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 y 70 días). El análisis de varianza indicó efecto significativo ($p < 0.05$) de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre el índice de pardeamiento y firmeza instrumental; y la prueba de Duncan determinó que a los 70 días de almacenamiento a -18 °C el índice de pardeamiento fue de 61.77 y la firmeza instrumental de 0.91 N. Para estimar la vida útil sensorial a -25°C se empleó el modelo de Weibull, siendo para color y firmeza sensorial de 69.20 y 108.04 días, respectivamente, en palta variedad Fuerte en cubos congelada.

ABSTRACT

The effect of the temperature and storage time on the browning index, firmness and acceptance of avocado (*Persea americana* Mill) variety Fuerte in frozen cubes was evaluated. The samples of Fuerte variety avocado were frozen in cubes at -25 °C; and stored at -6, -12 and -18 °C to accelerate its deterioration during 70 days (evaluated physically and sensory at 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 and 70 days). The analysis of variance indicated significant effect ($p < 0.05$) of the temperature and storage time on the browning index and instrumental firmness; and the Duncan test determined that after 70 days of storage at -18 °C the browning index was 61.77 and the instrumental firmness was 0.91 N. To estimate the sensory life at -25 °C, the Weibull model was used, being for color and sensory firmness of 69.20 and 108.04 days, respectively, in Fuerte variety avocado in frozen cubes.

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de los productos de exportación no tradicional, la palta se ha convertido en una gran alternativa, aumentando año a año el volumen y valor exportado, facilitado por algunas ventajas agroclimáticas que deben ser mejor aprovechadas por nuestros productores. La Libertad, es la primera región productora de palta en el Perú con una producción total de 120468 t en el 2017. Respecto a la estacionalidad de la oferta se tiene que en la provincia de Virú y Trujillo el período de mayor cosecha de este cultivo se da en los meses de enero – julio (MINAG, 2017).

El principal mercado de consumo mundial de palta son los Estados Unidos, siendo el Perú uno de los países que abastece parcialmente a este gran mercado, entre las distintas presentaciones de palta que el Perú exporta a Estados Unidos tenemos la palta en trozos congelada, puré de palta, palta en fresco, por lo que dándole un valor agregado a esta preparación se fortalecería la producción y exportación de este producto que atrae el interés de los consumidores de alimentos beneficiosos para la salud humana (MINAG,2017).

El consumidor, es cada vez más exigente en la calidad y expectativas de un producto saludable y fresco. Por esta razón es que siempre se busca tratamientos o procesos innovadores que ayuden a los alimentos a mantenerse en buen estado, que tengan más tiempo de vida útil (León, 2014). Los diversos estudios realizados para prolongar la vida útil de la palta se han orientado hacia la aplicación de técnicas de conservación basadas en la congelación y deshidratado (Olaeta,1991). En la conservación de alimentos, el congelado es una técnica que ha tenido buenos resultados, combinada con el uso de aditivos para reducir el oscurecimiento del fruto (oxidación) que es el principal obstáculo para mantener la calidad del producto (Kiger y otros,1980). Una de las ventajas

importantes de esta metodología es que permite calcular la vida útil de un producto alimenticio a través de técnicas estadísticas, y la asunción fundamental es que la distribución de la vida útil de un producto alimenticio pertenece a una familia de distribuciones de probabilidad (Normal, Weibull, Logística y Log-logística) y que las observaciones son estadísticamente independientes. Usando los datos experimentales obtenidos de las pruebas de vida en anaquel se puede calcular los parámetros de la distribución, los cuales pueden ser usados para predecir la probabilidad de diferentes eventos, tales como fallas futuras (Chao, 2003).

El problema planteado para esta investigación fue:

¿Cuál será el efecto de la temperatura (-6, -12 y -18 °C) y tiempo de almacenamiento (0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 63 y 70 días) sobre el índice de pardeamiento, firmeza y aceptación de palta (*Persea americana* Mill) variedad Fuerte en cubos congelada.

Los objetivos propuestos para esta investigación fueron los siguientes:

Evaluar el efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre el índice de pardeamiento, firmeza y aceptación de palta variedad Fuerte en cubos congelada.

Determinar a qué temperatura y tiempo de almacenamiento se obtuvo un menor índice de pardeamiento, mayor firmeza y aceptación de palta variedad Fuerte en cubos congelada.

Determinar la vida útil sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada (-25 °C), empleando el modelo de Weibull.

II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFIA

2.1. Palta

2.1.1. Definición

La palta (*Persea americana Mill*) es nativa de América, se originó en las partes altas del centro y este de México y Centro América y se extendió en Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2005).

La palta es un árbol de hoja perenne, nativa del área de América central, donde existen zonas selváticas en las que diferentes especies de árboles deben competir permanentemente por luz y espacio. Bajo estas condiciones se produce una selección natural que favorece la sobrevivencia de árboles de crecimiento rápido y permanente. Por esta razón, la palta es una especie que genéticamente está determinada para crecer continuamente, alcanzando fácilmente 12 m de altura y aproximadamente 14 m de diámetro de copa (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2005).

Según Vallejos (2010) la clasificación botánica de la palta es la siguiente:

División: Espermatophita

Sub división: Angiosperma

Clase: Dicotyledoneae

Orden: Laurea

Familia: Lauraceae

Género: *Persea*

Especie: *Persea americana*

Nombre común: Palta, aguacate

2.1.2. Variedades de palta

Según Vallejos (2010) las variedades de palta que se cultivan en el mundo son muchas. Las principales son originarias de Guatemala, México y Antillas, a partir de las cuales se han desarrollado varios híbridos:

Fuerte: Es de color verde proviene de la yema sacada de un árbol nativo de Atlixo (México) y tiene características intermedias entre la raza mexicana y guatemalteca. Los frutos presentan aspecto piriforme, de tamaño medio y pesa aproximadamente entre 180 a 400 g. Su largo medio es de 10 a 12 cm y su ancho de 6 a 7 cm. La piel ligeramente áspera, se separa con facilidad de la carne, variando su contenido de aceite entre 18 y 22%.

Hass: Es originaria de California. Sus frutos son de forma oval piriforme, tamaño medio y pesa aproximadamente entre 200 a 300 g, piel gruesa, rugosa, se pela con facilidad y presenta color verde a oscuro violáceo cuando el fruto madura. La pulpa no tiene fibra y su contenido de aceite fluctúa entre 18 y 22%. La semilla es de tamaño pequeño, forma esférica y adherida a la pulpa. El fruto puede permanecer en el árbol un cierto tiempo después de alcanzar la madurez, sin perder su calidad.

Edranol: Los frutos son piriformes, piel rugosa de color verde y tamaño medio y pesa aproximadamente entre 260 a 300 g. La pulpa tiene un buen sabor y un contenido de aceite de 22%.

Bacón: Originario de California y con buena resistencia al frío. El fruto es de forma oval, de tamaño medio y pesa aproximadamente entre 250 a 300 g.

Negra de la Cruz: Es conocida como Prada o Vicencio. Se originó posiblemente en Olmué (Chile) por hibridación natural, en la que podría haber alguna influencia de la variedad Mexicana Leucaria, a cuyo follaje de

ondulación ancha se asemeja. Es un árbol de crecimiento rápido, precoz, muy cargado y de madera frágil, por lo que no es raro que sus ramas se quiebren con facilidad. El fruto es piriforme, con piel de morada a negra.

Ettinger: El fruto es de forma oval alargada, tamaño mediano, piel fina, lisa y de color verde brillante. La pulpa no tiene fibra y es de muy buena calidad. Constituye una de las variedades importantes en Israel, donde ocupa entre el 25 y el 30% de la superficie cultivada con paltos.

2.1.3. Composición química de la palta

La composición química de la palta es compleja, variable y depende de las variedades (o cultivares) consideradas, de la zona geográfica donde se cultiva, de su estado de madurez, del suelo y de otras condiciones ecológicas (Vallejos, 2010).

Desde un punto de vista nutricional, la palta es una fruta relevante y de alto valor calórico, posee una gran cantidad de ácidos grasos insaturados, siendo ésta su característica más distinguida. Además, esta fruta es rica en vitaminas lipo e hidrosolubles, especialmente A y C (Vallejos, 2010).

El Cuadro 1 presenta la composición química de la palta, se aprecia el alto contenido de agua (79.2 g) y grasas (12.5 g); así como, su composición en vitaminas A y C.

Cuadro 1. Composición nutricional de la palta (en 100 g de porción comestible)

Componentes	Cantidad
Energía (kJ)	130
Agua (g)	79.2
Proteínas(g)	1.7
Grasas (g)	12.5
Carbohidratos(g)	5.6
Fibras(g)	3
Cenizas(g)	1.0
Calcio (mg)	30
Fósforo(mg)	67
Hierro(mg)	0.60
Retinol(mg)	7
Tiamina(mg)	0.03
Riboflavina(mg)	0.10
Niacina(mg)	1.82
Ácido ascórbico reducido(mg)	6.80

Fuente: Reyes (2017).

2.2. Congelación de alimentos

2.2.1. Definición

La congelación es una operación unitaria que está destinada a conservar los alimentos sin causar cambios significativos en su calidad sensorial o valor nutricional. Implica una reducción en la temperatura de un alimento por debajo de su punto de congelación, utilizando ya sea un sistema mecánico o criogénico (Fellows, 2017).

Está comprobado que numerosos cristales de hielo pueden ser formados durante el proceso de congelación. La formación de núcleos de hielo es el proceso precursor de la cristalización. El tamaño del cristal de hielo depende del número de núcleos formado y es directamente proporcional al grado de sobre enfriamiento logrado en la muestra antes nucleación y la tasa de crecimiento del cristal posterior (Otero y Sanz, 2012); (Fernández y otros, 2006); (Otero y Sanz, 2006).

El grado de sobre enfriamiento alcanzado antes de la nucleación es un factor importante en la dinámica de un proceso de congelación debido a que la tasa de núcleos formación depende de ello (Otero y Sanz, 2012). Por cada grado de sobre enfriamiento, la tasa de nucleación de hielo es casi 10 veces mayor. Una vez que el sobre enfriamiento cesa, se produce una transición de fase casi instantáneamente en toda la zona sobre enfriada. Posteriormente, se produce la cristalización durante la cual la temperatura sube rápidamente a la temperatura de congelación debido a la liberación del calor latente (Fernández y otros, 2006).

2.3. Deterioro de alimentos

El deterioro de alimentos es originado por bacterias, hongos, mohos, levaduras, virus o parásitos, por cambios físicos, químicos y bioquímicos, reacciones por la luz y transferencia de sustancias. En término general el diseño del producto debe considerar el diseño del empaque, control de actividad acuosa, pH, control de temperaturas de almacenamiento y control de la carga inicial de microorganismos para garantizar la vida útil del producto. En realidad, la exposición a agentes microbianos es quizá el punto coyuntural debido a la diversidad de éstos y al tiempo transcurrido desde el proceso hasta el consumo del alimento (Posada, 2011).

El alimento por ser una matriz con un alto contenido de nutrientes, agua, fuentes de carbono, fuentes de nitrógeno, vitaminas y minerales,

constituye un hábitat excelente para el desarrollo de microorganismos, pese a que dentro de la composición natural de algunos alimentos hay agentes antimicrobianos como: enzimas tipo lisosimas, gases como el dióxido de carbono, vitaminas como la riboflavina, compuestos fenólicos y timol. En general se puede decir que es cuando un alimento o producto no es aceptable al consumidor. Los casos más comunes se dan por cambios en color, sabor, textura y aroma. El extremo máximo cuando representa un riesgo a la salud (generación de compuestos tóxicos o por crecimiento microbiológico), pérdida de nutrientes (vitaminas y proteínas principalmente). El tiempo en llegar a alguna de estas condiciones de deterioro es la vida útil (Posada, 2011).

Todos los alimentos se deterioran por razones complejas, el conocimiento de estos mecanismos, permite plantear estrategias para extender la vida útil, sin sacrificar características sensoriales y nutricionales. Identificar factores de mayor influencia y predecir el tiempo de caducidad. El deterioro depende de los cambios que intervengan: microbianos (no microbianos), físicos, químicos, internos y externos. El valor nutricional del alimento puede verse afectado sin que el consumidor lo advierta (Posada, 2011).

2.4. Métodos estadísticos aplicados a la determinación de la vida útil en alimentos

2.4.1. Tiempo de vida útil

En la industria de los alimentos se requiere conocer la vida útil de los productos para asegurar a los consumidores finales que el alimento adquirido mantiene todas sus características en buen estado (García y otros, 2011).

La vida útil de un producto depende de muchos factores, como, por ejemplo: ambientales, humedad, temperatura a la cual se expone, el proceso térmico que sufre, de la calidad de las materias primas que lo componen, entre otros (León, 2014).

Hay un tiempo determinado, después de haber elaborado el producto, en el que se mantienen sus propiedades sensoriales y de seguridad, bajo determinadas condiciones de almacenamiento, estas circunstancias determinan que el final de la vida útil de un producto se alcanza cuando ya no mantiene las cualidades requeridas para que el consumidor final lo utilice (Casp y Abril, 2003).

2.4.2. Análisis de supervivencia

Se denomina análisis de supervivencia al conjunto de técnicas que permiten estudiar la variable “tiempo hasta que ocurre un evento” y su dependencia de otras posibles variables explicatorias. Por ejemplo, en el estudio de enfermedades crónicas o tratamientos muy agresivos, el tiempo hasta que ocurre la muerte del enfermo (tiempo de supervivencia) y su dependencia de la aplicación de distintos tratamientos, pero en otras enfermedades, el tiempo hasta la curación, o el tiempo hasta la aparición de la enfermedad. En procesos de control de calidad se estudia el tiempo hasta que un cierto producto falla (tiempo de fallo), o el tiempo de espera hasta recibir un servicio (tiempo de espera), etc. (Hough y Fiszman, 2005).

Debido a que la variable tiempo es una variable continua podría ser, en principio, estudiada mediante las técnicas de análisis de la varianza o los modelos de regresión. Hay, sin embargo, dos dificultades importantes para este planteamiento. En primer lugar, en la mayor parte de los estudios citados la variable tiempo no tiene una distribución normal, más

bien suele tener una distribución asimétrica y aunque podrían intentarse transformaciones que la normalizaran, existe una segunda dificultad que justifica un planteamiento específico para estas variables, y es que para observarlas se tiene que prolongar el estudio durante un período de tiempo suficientemente largo, en el cual suelen ocurrir pérdidas, que imposibilitan la observación del evento (Hough y Fiszman,2005).

El análisis de supervivencia es una herramienta estadística muy utilizada en estudios clínicos, epidemiológicos, biológicos y sociológicos. Comprende un conjunto de procedimientos estadísticos para analizar aquellos tipos de datos que incluyen el tiempo entre dos sucesos como variable respuesta. En el caso más clásico el primer suceso es el nacimiento, y el segundo la muerte. En la aplicación de la vida útil de los alimentos, el primer suceso podría ser el tiempo transcurrido en la comercialización y el segundo, el rechazo del alimento por parte de los consumidores (Hough y Fiszman,2005).

Gakula y Sing (1984) introdujeron el modelo de Weibull, derivado del análisis de supervivencia, en estudios de vida útil de alimentos. El modelo fue aplicado en estudios posteriores sin tener en cuenta el concepto de censura (Hough y otros, 1999; Cardelli y Labuza, 2001; Duyvesteyen y otros, 2001). Hough y otros (2003) aplicaron el concepto de censura y las herramientas propias del análisis de supervivencia a la vida útil de los alimentos.

a) Fenómeno de censura

Una dificultad propia de vida útil es el hecho de que la información sobre el momento en que un consumidor rechaza el producto depende de los tiempos de almacenamiento en que este prueba el producto. El tiempo "T" hasta que se produce el rechazo no se observa con exactitud, dando lugar a los llamados tiempos censurados. La censura puede ser de distintos

tipos: la “censura por la derecha” se produce cuando el consumidor no rechaza ninguna de las muestras, en particular no rechaza la muestra almacenada en el tiempo máximo que duró el estudio (llámase t_{ult}). En este caso se dispone de la información que el tiempo hasta el rechazo de “ T ”, es superior a t_{ult} . La “censura en un intervalo se da cuando el consumidor rechaza el producto entre dos tiempos de almacenamiento dados. Por ejemplo, ha aceptado la muestra almacenada t_j horas y rechaza la muestra almacenada t_k . En este caso “ T ” está entre t_j y t_k horas. La “censura por la izquierda es un caso particular de la censura en un intervalo y se da cuando el consumidor rechaza el producto en el primer tiempo de almacenamiento. Es decir, en este caso “ T ” está entre 0 y t_j horas (Hough y Fiszman, 2005).

b) Cálculo de la vida útil a partir de los datos de los consumidores

Estimación de la función de rechazo

Para estimar la función de rechazo se maximiza la llamada función de verosimilitud. Dicha función describe la probabilidad conjunta de obtener los datos experimentalmente, sobre los sujetos en estudio, como una función de los parámetros desconocidos del modelo considerado (Hough y Fiszman 2005).

Si se asume un determinado modelo paramétrico que ajusta razonablemente bien los datos, la función de verosimilitud dependerá tan solo de unos pocos parámetros y proporcionará una estimación más precisa tanto de la función de rechazo como de otros parámetros de interés. Teniendo en cuenta que usualmente la distribución de los tiempos de rechazo está sesgada a la derecha, el modelo normal no es adecuado y otras leyes tales como la de Weibull o log-normal son más adecuadas. Una manera práctica de representar estas distribuciones es mediante un modelo log-lineal que se muestra en la ecuación:

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

Donde:

W= distribución de error. Es decir, en lugar de plantear un modelo para tiempo de falla T, se modela su transformación logarítmica (Hough y Fiszman,2005).

Presentan diferentes distribuciones posibles para T, por ejemplo, la distribución normal o la distribución de Weibull. Para la log-normal, W es la distribución normal estándar; en el caso de la distribución de Weibull, W es la distribución del valor extremo.

Si se elige para T la distribución log - normal, la función de rechazo está dada por la ecuación:

$$F(t) = \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)$$

Donde:

Φ = función acumulativa de la curva normal.

μ y σ = parámetros de modelo.

Si se elige la distribución de Weibull, la función de rechazo está dada por la ecuación:

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

Donde:

Fsev = función de rechazo de la distribución del valor extremo, $F_{sev}(w) = 1 - \exp(-w)$

μ y σ = parámetros de modelo.

Los parámetros del modelo log-lineal se obtienen maximizando la función de verosimilitud.

Cálculos de los percentiles con sus intervalos de confianza

En estudios de vida útil sensorial, los parámetros de interés a menudo son los percentiles de la distribución de la vida útil. Por ejemplo, se usará el percentil del 50% o mediana, si se está interesado en saber cuántos días se puede almacenar un alimento para que menos del 50% de los consumidores rechacen el producto; o bien, se usará el percentil del 25% si se quiere conocer la diferencia en días de almacenamiento, si sólo se permite que el 5% de los consumidores rechace el alimento al final de su vida útil (Hough y Fiszman 2005).

2.4.3. El modelo de Weibull, en estudios de vida útil de alimentos

La distribución de Weibull fue introducida en la práctica por Walodi Weibull en 1951 y está compuesta por una familia de distribuciones que tienen por fórmula representada en la siguiente ecuación:

$$F(x) = \alpha * \beta * (x - \gamma)^{(\beta-1)} * e^{-\alpha(x-\gamma)^\beta}$$

Donde:

α = Parámetro de escala.

β = Parámetro de forma.

γ = Parámetro de situación.

La curva de la función varía mucho dependiendo de los valores numéricos de los parámetros. El más importante, es el parámetro de forma β , que refleja el aspecto de la curva. En la práctica β varía entre 1/3 y 5. El parámetro de escala α , está relacionado con el apuntamiento de la curva. El parámetro de situación, γ , es el valor mínimo posible para x. A menudo se supone igual a cero, simplificándose así la ecuación y convirtiéndose en una ecuación de dos parámetros (Hough y otros, 2006). En la Figura 1, se muestra ejemplos de las formas tomadas por la Distribución de Weibull.

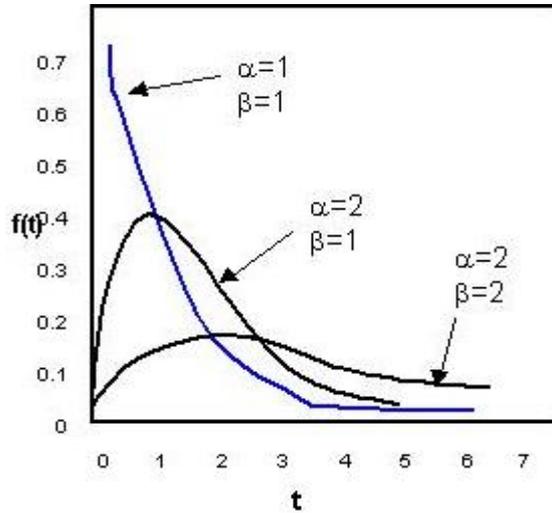


Figura 1. Formas de la función de densidad de probabilidad de la distribución de Weibull

Fuente: Gácula y Kubala (1975).

Los modelos de probabilidad guardan relación implícita con el mecanismo de deterioro del producto, por lo que existen distribuciones específicas para algunos mecanismos, aunque la de Weibull, por su gran versatilidad es capaz de explicar diferentes tipos de deterioro en los productos alimenticios durante su almacenamiento (Gácula y Kubala, 1975).

Para el caso de alimentos se aplica la distribución de Weibull de dos parámetros (α y β ; $\gamma=0$), cuya función de densidad está dada por la ecuación:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha * \beta} * x^{(\beta-1)} * e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta}, x > 0$$

Los parámetros α y β siempre toman valores positivos; a α se le conoce también como “tiempo de vida característico” y coincide con el percentil

63.2 de la distribución, es dimensionalmente equivalente a la magnitud aleatoria x , mientras que β no tiene dimensiones (Gácula y Kubala, 1975). En la industria alimentaria se han logrado buenos resultados con la distribución de Weibull para describir el deterioro de muchos alimentos durante el almacenamiento; como una amplia familia de productos cárnicos, miel, wafers, caramelos blandos, galletas y algunas conservas en envases metálicos (Gácula y Kubala, 1975).

En la ecuación se muestra la función acumulada de la distribución de Weibull. Esta ecuación define la probabilidad de que una muestra se deteriore antes del tiempo x .

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta}, x \geq 0$$

La función de riesgo o velocidad de fallas se muestra en la ecuación:

$$h(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{(\beta-1)}, x \geq 0$$

La velocidad de fallas para el modelo de Weibull se incrementa cuando $\beta > 1$ y decrece cuando $\beta < 1$. Cuando $\beta = 1$, la velocidad de fallas (o deterioro) es constante. La flexibilidad de la distribución, con respecto a la velocidad de fallas permite una amplia variedad de aplicaciones (Gácula y Kubala, 1975).

En la ecuación se observa la función de riesgos acumulados de la distribución de Weibull.

$$H(x) = \left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta, x \geq 0$$

El ploteo de riesgos acumulados de Weibull, es una técnica grafica que emplea un papel probabilístico o escalar de riesgos desarrollado por Nelson en 1968; para determinar si el conjunto de datos de una población podrían

lógicamente ajustarse a la distribución de dos parámetros de Weibull (se asume que $\gamma=0$).

La facilidad del método radica en que es posible predecir el porcentaje de fallos que habrá entre dos límites cualesquiera de tiempos definidos, y también porque es posible extrapolar más allá de los datos reales de ensayo, permitiendo de este modo, predicciones de vida útil sin acumular muchas horas de laboratorio.

Esta aplicación es convenientemente utilizada para determinar los períodos de garantía que se pueden ofrecer en el expendio de un producto, principalmente productos en los cuales intervienen gran cantidad de componentes individuales. Es decir, la probabilidad de que el producto en conjunto desempeñe las funciones que han sido proyectadas, durante el tiempo de servicio previsto, bajo las condiciones de operación que se presente (Gácula y Kubala, 1975).

La confiabilidad estadística de esta distribución se muestra en la ecuación.

$$R(x) = 1 - F(x)$$

Como $F(x)$ es la función acumulada de la distribución, expresada como la proporción de muestras que fallarían antes del tiempo x (probabilidad de supervivencia). La confiabilidad de un componente se define como la probabilidad de que este funcione adecuadamente al menos el tiempo especificado en determinadas condiciones experimentales (Gácula y Kubala, 1975).

2.5. Estudios acelerados

Los estudios de vida útil acelerados permiten obtener información en tiempos relativamente cortos; consisten en incubar el alimento bajo condiciones controladas y a diferentes temperaturas. Estas temperaturas, en general, deben ser mayores a las de almacenamiento y comercialización para permitir que las reacciones de deterioro se aceleren y se obtenga una respuesta en un tiempo comparativamente corto respecto a otros métodos (García y otros, 2011).

Para los estudios acelerados se debe establecer un diseño experimental que contemple las variables a evaluar y controlar las variables que no se desean evaluar para evitar que interfieran en las mediciones, y por ende, en los resultados (García y Molina, 2008).

Durante el tiempo de elaboración, almacenamiento y transporte del producto, el alimento experimenta cambios de calidad que pueden ser expresadas o descritas mediante modelos matemáticos. La importancia de estos modelos radica en que proporcionan vías objetivas para medir la calidad y determinar los límites de la vida útil del alimento, siempre y cuando se fundamenten en el conocimiento de los diferentes mecanismos de deterioro, así como en un análisis sistemático de los resultados, debido a que un alimento es un sistema fisicoquímico de alta complejidad que involucra numerosas variables físicas y químicas (Morillas, 2014).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales y análisis sensorial se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Privada Antenor Orrego y en el Laboratorio de Ingeniería de Operaciones de la Escuela de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de Trujillo.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Palta (*Persea americana* Mill) variedad Fuerte, procedente del distrito de Virú, región La Libertad.

Ácido cítrico grado alimenticio, Marca Merck

Ácido ascórbico grado alimenticio. Marca Merck

Ácido peracético. Marca Merck

Sal de mesa, Marca Emsal

Bolsas de polietileno de 100 μ m de espesor

Bandejas de plástico

Cuchara plana

Cubicadora automatizada. Marca URSCHEL DiversaCut 2110A™

3.2.2. Equipos

Termómetro digital. Marca Multidigital. Rango -10 a 100. Precisión ± 0.1 °C.

Refrigeradora. Marca Bosh. Modelo Frost 44. Rango 0-8 °C. Precisión ± 2 °C.

Refrigeradora - Congeladora. Marca LG. Modelo GM610ULV. Rango 0-6 °C. Precisión ± 2 °C.

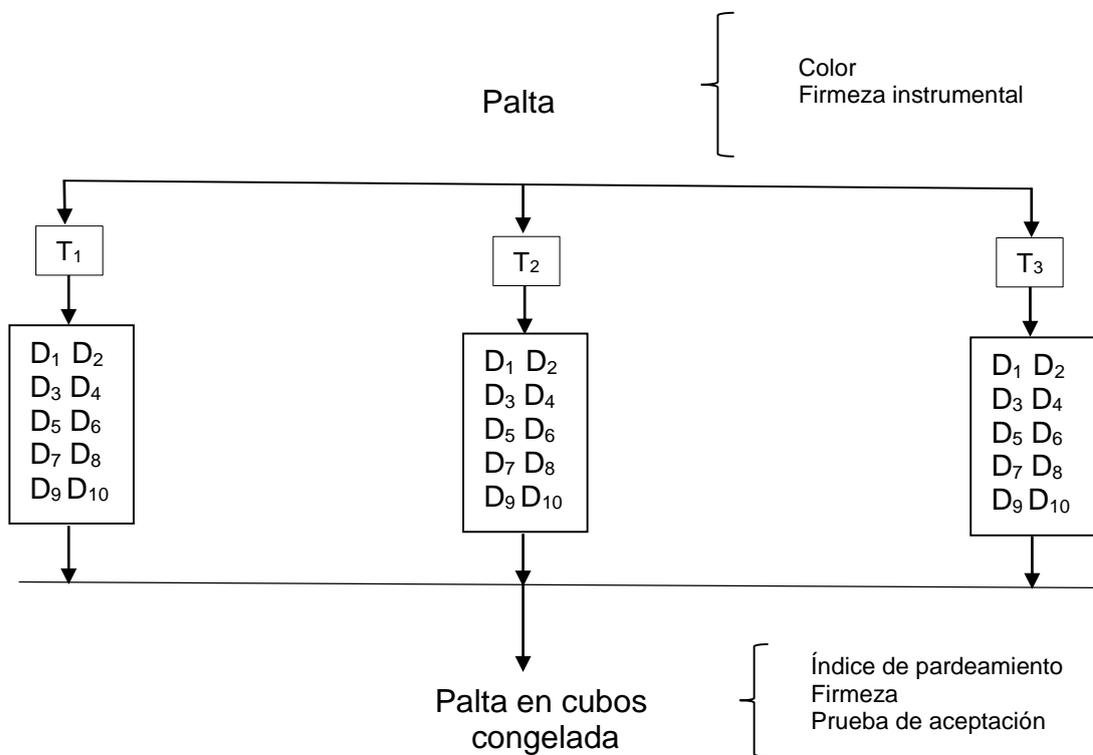
Balanza analítica. Marca Mettler Toledo. Modelo AB204. Capacidad 210 g, aprox. 0.0001 g.

Analizador de Textura Marca Instron Modelo 3342 Celda de 50N.

3.3. Método experimental

3.3.1. Esquema experimental de la investigación de palta en cubos congelada

En la Figura 2, se muestra el esquema experimental, que tiene como variables independientes a la temperatura y tiempo de almacenamiento y como variables dependientes el color, firmeza instrumental y aceptación de palta variedad Fuerte en cubos congelada.



Leyenda:

T₁: temperatura - 6 °C
 T₂: temperatura - 12 °C
 T₃: temperatura - 18 °C

D₀: tiempo de evaluación día 0
 D₁: tiempo de evaluación día 7
 D₂: tiempo de evaluación día 14
 D₃: tiempo de evaluación día 21
 D₄: tiempo de evaluación día 28
 D₅: tiempo de evaluación día 35
 D₆: tiempo de evaluación día 42
 D₇: tiempo de evaluación día 49
 D₈: tiempo de evaluación día 56
 D₉: tiempo de evaluación día 63
 D₁₀: tiempo de evaluación día 70

Figura 2. Esquema experimental para la estimación de vida útil de palta en cubos congelada

3.3.2. Diagrama de flujo para la elaboración de palta en cubos congelados

En la Figura 3, se observa el flujo de proceso para la elaboración de palta en cubos congelada.

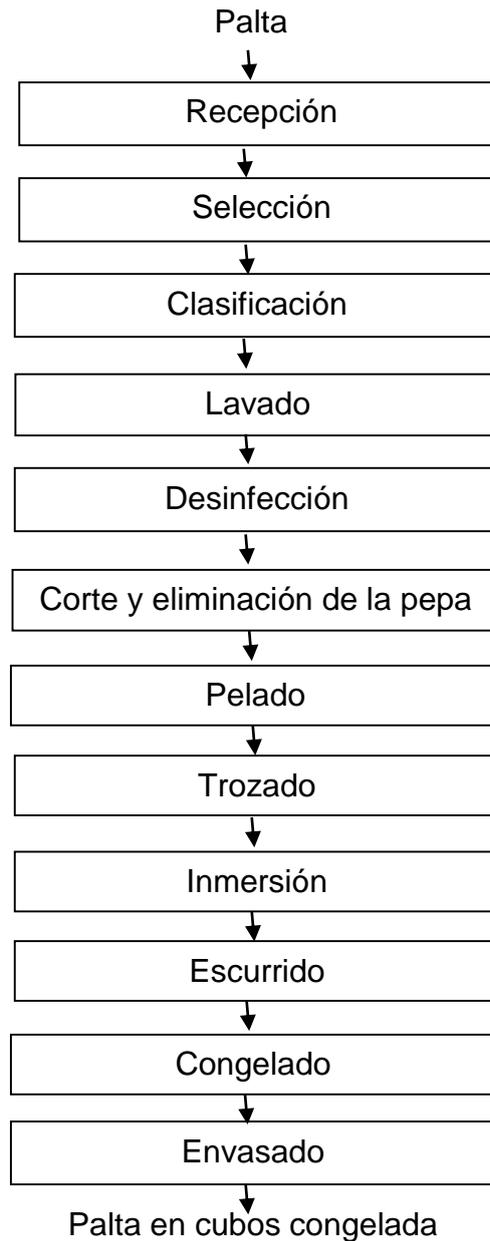


Figura 3. Diagrama de proceso para la preparación de palta en cubos congelada

Fuente: SAVSA (2015).

A continuación, se describe cada etapa a seguir para la elaboración de palta en cubos congelada.

Recepción. Los frutos se transportaron en jabas después de la cosecha y se recibieron teniendo en cuenta los requisitos de calidad: Estuvieron enteros, sanos y libres de cualquier materia extraña visible, prácticamente exentos de cualquier olor y/o sabor extraño (García y Quintanilla, 2003).

Selección. Se seleccionaron paltas sanas y exentas de podredumbre o deterioro, libre de plagas que afecten al aspecto general del producto (CODEX STAN 197-1995).

Clasificación. El peso de la palta estuvo comprendido entre 156-170 g y la textura de la pulpa entre 2-4 N (CODEX STAN 197-1995).

Lavado

Las paltas fueron lavadas por inmersión con agua potable a 22 °C a fin de extraer el material contaminante (García y Quintanilla,2003)

Desinfección

Las paltas fueron sumergidas en una solución de ácido peracético al 15% (Oxonia) a 200 ppm durante 5 min con la finalidad de reducir la carga microbiana (García y Quintanilla,2003).

Corte y eliminación de la pepa

Las paltas se cortaron longitudinalmente y se procedió a remover la pepa de forma manual (García y Quintanilla,2003).

Pelado

Posteriormente se realizó la separación de la pulpa y la cáscara, en forma manual, con la ayuda de una cuchara plana (García y Quintanilla,2003).

Trozado

Finalizada la separación de la pulpa, se procedió a trozarla en cubos de 1.5 x 1.5 x 1.5 cm en una maquina cubicadora (García y Quintanilla, 2003).

Inmersión

Se realizó la inmersión en solución de ácido cítrico, ascórbico y sal (1%, 3.2% y 3.6%, respectivamente) por un tiempo de 30 s, con el fin de inhibir el pardeamiento enzimático (García y Quintanilla,2003).

Ecurrido

Se realizó en una rejilla de acero inoxidable con el objetivo de eliminar el exceso de solución adherida al producto (CODEX STAN 197-1995).

Congelado

El congelado se realizó en una congeladora a una temperatura de -25 °C durante 72 h (Hough y Fiszman ,2005).

Envasado

El producto congelado se envasó aproximadamente a 232 g en bolsas herméticas de polietileno de alta densidad.

Almacenamiento

El producto se mantuvo almacenado en una cámara de congelación a una temperatura de -6, -12 y -18 °C, hasta su posterior evaluación.

3.4 Métodos de análisis

3.4.1. Preparación de las muestras para el análisis

Los cubos de palta congelados, se sometieron a un deterioro acelerado usando temperaturas de almacenamiento de -6, -12 y -18°C durante 70 días (Hough y Fiszman, 2005).

3.4.2. Índice de pardeamiento

Las muestras de palta se conservaron almacenadas en tres cámaras de congelación a una temperatura de -6,-12 y -18 °C, hasta su posterior evaluación manteniendo el envase cerrado. Después del tiempo indicado se abrió el envase y se procedió a extender el contenido de cada bolsa sobre un recipiente. Después de 2 horas a temperatura ambiente se procedió a realizar la determinación del color. Para tal efecto se utilizó un equipo de fondo negro sin brillo, esto permitió la toma de color con menor distorsión a través de un teléfono celular que contaba con una aplicación que registraba los valores de RGB de cada muestra, posteriormente estos valores fueron transformados a L*, a* y b*, utilizando el software IMAGEJ. Estos valores permitieron calcular el índice de pardeamiento (IP) valor que indica la pureza del color marrón y se ha reportado como un parámetro importante en procesos donde el pardeamiento enzimático y no enzimático tienen lugar (Palou y otros,1999), y se calculó con las siguientes ecuaciones (se tomó 5 repeticiones):

$$X = \frac{a^* + 1.75 - L^*}{(50645 * L^* + a^* - 3.012 * b^*)} \dots \dots \dots \text{Ecuación(1)}$$

Se reemplazó X en la ecuación 2 para obtener el índice de pardeamiento:

$$IP = \frac{[100 * (X - 0.31)]}{0.17} \dots \dots \dots \text{Ecuación(2)}$$

3.4.3. Firmeza Instrumental

La firmeza de los cubos de palta se midió con un Texturómetro Instron Modelo 3342, cada cubo se comprimió a una velocidad de 0.50 mm/s, con una probeta esférica de 0.25 mm de diámetro, a una temperatura ambiente de 20°C(Sanchez,2014), se tomó 5 repeticiones.

3.4.4. Análisis sensorial de Color y Firmeza

Se aplicó una prueba sensorial para determinar el porcentaje de rechazo para cada tratamiento en el transcurso de los días de evaluación, aplicando una cartilla de evaluación para aceptación de palta (Figura 4) a cada uno de los 30 panelistas no entrenados (consumidores habituales de palta) (Hough y Fiszman, 2005; Silva, 2013).

Las muestras se descongelaron previamente a temperatura ambiente(20°C) durante 2 h, se colocaron en vasos de plástico descartables, además se les brindó a los panelistas una cartilla para evaluar la aceptación de palta correspondiente a las tres condiciones de almacenamiento (Hough y Fiszman, 2005; Silva, 2013).

Prueba sensorial de aceptación o rechazo para palta en cubos congelada	
Nombre:	_____
Fecha:	
Instrucciones:	
Se le presenta una muestra de “palta en cubos congelada”, coloque el código de la muestra, degústela y encierre en un círculo la respuesta que crea conveniente.	
Código de la muestra:	_____
¿Consumiría Ud. la muestra de “palta en cubos congelada”?	
a) Sí	b) No
...Gracias	

Figura 4. Ficha de evaluación para la prueba sensorial de aceptación o rechazo para palta en cubos congelada

Fuente: Hough y Fiszman (2005).

3.5 Método estadístico

3.5.1. Color y firmeza instrumental

El método estadístico correspondió a un diseño bifactorial (temperatura y tiempo de almacenamiento), con 3 repeticiones. Para las variables paramétricas: índice de pardeamiento y firmeza instrumental se empleó la prueba de Levene modificada para determinar la homogeneidad de varianzas, posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANVA), y a continuación, al existir diferencias significativas ($p < 0.05$) se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Duncan la cual comparó los resultados mediante la formación de subgrupos y se determinó de esta manera el mejor tratamiento. Todos los análisis estadísticos se realizaron con un nivel de confianza del 95%. Para procesar los datos se utilizó el

software especializado Statistical Package for the Social Science (IBM-SPSS) versión 25.0.

3.5.2. Vida útil sensorial

Se aplicó el método de riesgos acumulados partiendo de los resultados de la prueba de aceptación o rechazo. Se tabularon los datos para cada tratamiento en el transcurso de los días, colocando el símbolo “+” si el panelista acepta la muestra, y el símbolo “-” si el panelista rechaza la muestra. Se evaluó la bondad de ajuste ($p > 0.05$) de las distribuciones Normal, Weibull, Logística y Log-logística para cada temperatura de evaluación. El criterio para el final de la vida útil se fijó en el plazo para el 50% de probabilidad de panelistas para calificar las muestras como inaceptables. Posteriormente se hizo una extrapolación con los resultados obtenidos para determinar el tiempo de vida útil a condiciones de almacenamiento normales de congelación ($-25\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Hough y Fiszman, 2005; Palazón y otros, 2009). Para el desarrollo estadístico se utilizó el software libre R versión 3.0.1 con el package survival, con un nivel de confiabilidad del 95%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre el índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada

En la Figura 5 se presenta el índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde se observa que al transcurrir los días de almacenamiento el índice de pardeamiento aumentó, siendo más notorio a mayor temperatura (-6 °C), los valores se encontraron entre 42.50 a 79.35. Los resultados experimentales se encuentran en el Anexo 13.

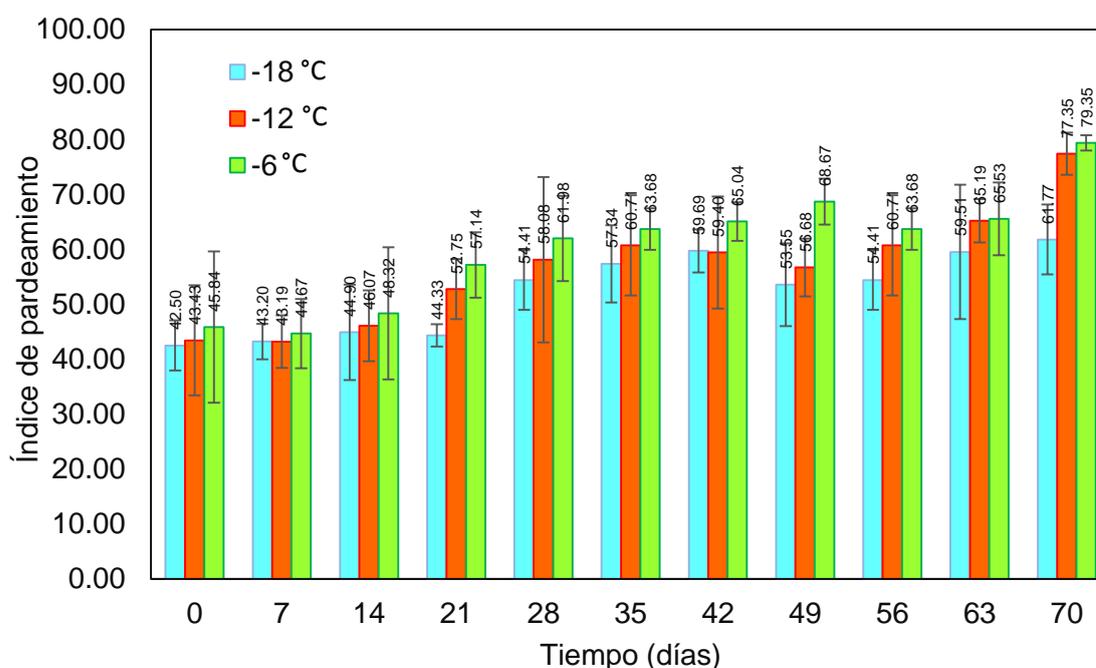


Figura 5. Índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada durante el almacenamiento acelerado

Morillas (2014) observó que a los 20 días de almacenamiento a temperatura a 5 °C el índice de pardeamiento fue de 105.43, a 10 °C de 107.47 y a 15 °C de 123.80, en salsa de palta variedad Hass envasada al vacío, evaluadas mediante pruebas aceleradas.

En el Cuadro 2, se presenta la prueba de Levene para los valores de Índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde existió homogeneidad de varianza ($p > 0.05$), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y posteriormente la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Morillas (2014) indica que el efecto de la temperatura en palta está relacionado principalmente con la actividad de las polifenoloxidasas (PPO), las cuales catalizan la oxidación de compuestos fenólicos a quinonas, con la consecuente transformación a pigmentos oscuros no deseables para la calidad industrial, además, el índice de pardeamiento indica la presencia de color marrón y se reporta como un parámetro importante en procesos donde el pardeamiento enzimático y no enzimático tienen lugar.

Según Man (2004) el pardeamiento es visto por la mayoría de los consumidores como indeseable y puede limitar la caducidad de los frutos y vegetales, los factores más importantes que afectan a la velocidad del pardeamiento son las concentraciones tanto de la fenolasa activa, compuestos fenólicos, el pH, la temperatura y la disponibilidad de oxígeno en el tejido.

Cuadro 2. Prueba de Levene modificada para los valores de índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Estadístico de Levene	p
0.381	0.998

En el Cuadro 3 se presenta el análisis de varianza para índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde la temperatura y tiempo presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) y la interacción temperatura - tiempo no presentaron efecto significativo.

Cuadro 3. Análisis de varianza para índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Temperatura: A	1065.939	2	532.969	9.754	0.000
Tiempo: T	7438.604	10	743.860	13.614	0.000
A*B	577.213	20	28.861	0.528	0.944
Error	3606.195	66	54.639		
Total	12687.951	98			

En el Cuadro 4 se presenta la prueba de Duncan para índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde se tiene en el subgrupo 5 al menor índice de pardeamiento (61.77) correspondiente al cubo de palta almacenado a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a los 70 días (mejor tratamiento). Con referencia a los cubos de palta almacenados a $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a los 70 días el índice pardeamiento fue mayor de 77.35 y 79.35, respectivamente (subgrupo 9).

Cuanto menor sea la temperatura de congelación, más lenta es la tasa de migración de las moléculas de agua. Si la temperatura es suficientemente baja, es difícil que las moléculas de agua se agreguen en grandes cristales de hielo. Por otra parte, aumentar la temperatura del almacenamiento conduce a un aumento en el diámetro de los cristales (Gutiérrez y otros, 2017). A temperaturas superiores a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, los cristales de hielo derretidos se agregan formando grandes cristales, los cuales pueden causar efectos negativos en la calidad de los alimentos (Ndoye y Alvarez, 2015).

En los tejidos vegetales, la formación de cristales de hielo grandes puede provocar la rotura y/o debilitamiento de la estructura celular, que causa pérdida de la turgencia y ablandamiento del tejido (Liang y otros, 2015), así como daño mecánico en las células, que facilita que el oxígeno haga contacto con enzimas y sustratos, acelerando así la tasa de oxidación (Ali y otros, 2015).

4.2. Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada

En la Figura 6 se presenta la firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde se observa que al transcurrir los días de almacenamiento la firmeza instrumental disminuyó, siendo más notorio a mayor temperatura (-6 °C), los valores se encontraron entre 0.27 a 2.99 N. Los resultados experimentales se encuentran en el Anexo 13.

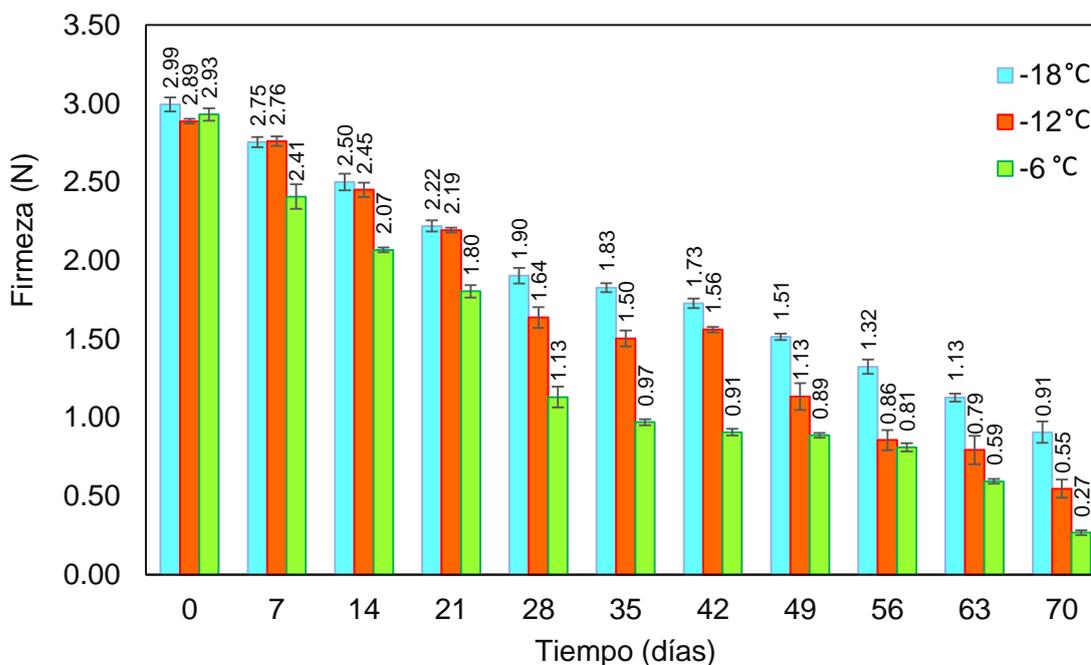


Figura 6. Firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Durante el almacenamiento en congelación ocurren modificaciones celulares que ocasionan pérdida de agua, que también es considerada como un factor importante para los cambios en la firmeza de frutas y vegetales, las actividades de las enzimas pécticas generan cambios en la firmeza de frutas y vegetales (Sánchez, 2014).

En el Cuadro 5, se presenta la prueba de Levene para los valores de firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde existió homogeneidad de varianza ($p > 0.05$), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y posteriormente la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 5. Prueba de Levene modificada para los valores de firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Estadístico de Levene	p
0.538	0.972

En el Cuadro 6 se presenta el análisis de varianza para firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde la temperatura, tiempo y la interacción temperatura – tiempo presentaron efecto significativo ($p < 0.05$).

Cuadro 6. Análisis de varianza para firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
Temperatura: A	5.000	2	2.500	1197.397	0.000
Tiempo: T	52.859	10	5.286	2531.713	0.000
A*B	1.236	20	0.062	29.606	0.000
Error	0.138	66	0.002		
Total	59.233	98			

En el Cuadro 7 se presenta la prueba de Duncan para firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde se tiene en el subgrupo 6 a la mayor firmeza (0.91 N) correspondiente al cubo de palta almacenado a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a los 70 días (mejor tratamiento). Con referencia a los cubos de palta almacenados

a -6 y -12 °C a los 70 días la firmeza fue menor de 0.27 y 0.55 N, respectivamente (subgrupo 1 y 2).

Durante el almacenamiento congelado, la temperatura y su estabilidad son dos factores que afectan el cambio de tamaño y la redistribución de los cristales de hielo, lo que podría causar daño a la estructura de los alimentos (Zhu y otros, 2019). Sun (2011) indica que las temperaturas de -18°C a -40 °C, suelen emplearse comúnmente para mantener la calidad del producto congelado.

El proceso de agua que se convierte en hielo puede romper la estructura de las células y causar una pérdida significativa por goteo durante la descongelación. Se ha confirmado que la tasa de descongelación (Oliveira y otros, 2015), el tamaño y la distribución de cristales de hielo (Kong y otros, 2017), así como características del material (Fernández y otros, 2006) están todos estrechamente relacionados con la pérdida por goteo. La pérdida de humedad da como resultado la declinación del sabor, la disminución de la firmeza y pérdida de nutrientes después de la descongelación (Kong y otros, 2017; Wang y otros, 2017; Zhang y otros, 2017).

Cuadro 7. Prueba de Duncan para firmeza instrumental de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Tiempo (días)	Temperatura (°C)	Subconjunto																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
70	-6	0.27																			
70	-12		0.55																		
63	-6		0.59																		
63	-12			0.79																	
56	-6			0.81	0.81																
56	-12			0.86	0.86	0.86															
49	-6				0.89	0.89															
70	-18					0.91	0.91														
42	-6					0.91	0.91														
35	-6						0.97														
63	-18							1.13													
28	-6							1.13													
49	-12							1.13													
56	-18								1.32												
35	-12									1.50											
49	-18									1.51											
42	-12									1.56											
28	-12										1.64										
42	-18											1.73									
21	-6												1.80								
35	-18												1.83								
28	-18													1.90							
14	-6														2.07						
21	-12															2.19					
21	-18															2.22					
7	-6																2.41				
14	-12																2.45	2.45			
14	-18																	2.50			
7	-18																		2.75		
7	-12																		2.76		
0	-12																			2.89	
0	-6																			2.93	2.93
0	-18																				2.99

4.3. Vida útil de palta variedad Fuerte en cubos congelada

4.3.1. Color sensorial

En el Cuadro 8 se presenta los parámetros de escala (α) y forma (β) a temperaturas de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada, obtenidos a partir de la prueba sensorial de aceptación y rechazo (Anexos 1, 2 y 3), además las censuras para cada temperatura de aceleramiento se encuentran en los Anexos 7, 8 y 9.

Cuadro 8. Parámetros de escala (α) y forma (β) a temperaturas de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Parámetros	Temperatura (°C)		
	-6	-12	-18
α	68.35	68.99	68.80
β	1.47	1.95	2.03

En el Cuadro 9 se presenta el tiempo de vida útil estimado al 10, 25 y 50% de rechazo a temperatura de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada.

Cuadro 9. Tiempo de vida útil estimado en días al 10, 25 y 50% de rechazo a temperatura de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Temperatura (°C)	Percentil	Estimado (días)	Intervalo de confianza al 95%	
			Inferior	Superior
-6	10	28.56	17.18	47.47
	25	43.18	30.78	60.56
	50	68.35	50.45	92.60
-12	10	35.75	20.99	60.90
	25	48.82	35.41	67.30
	50	68.99	54.88	86.73
-18	10	36.58	23.32	57.39
	25	49.34	37.19	65.46
	50	68.80	55.22	85.71

En la Figura 7, 8 y 9 se presenta la función supervivencia a -6, -12 y -18 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde se observa que al transcurrir los días de almacenamiento la probabilidad de supervivencia disminuyó; el producto tuvo una supervivencia cercana al 100% hasta los 10 días para la temperatura de -6 °C, de aproximadamente 18 días para -12 °C y de 22 días para -18 °C; con una probabilidad de supervivencia del 50% el producto tuvo un tiempo de vida útil aproximado 68 días para -6, -12 y -18 °C, respectivamente.

Gacula y Singh (1984) mencionan un valor de vida útil nominal considerando el 50% de rechazo, y Cardelli y Labuza (2001) utilizan este criterio en el cálculo de la vida útil del café, Curia y otros (2005) estiman la vida útil del yogurt en base a percentiles del 25 y 50%.

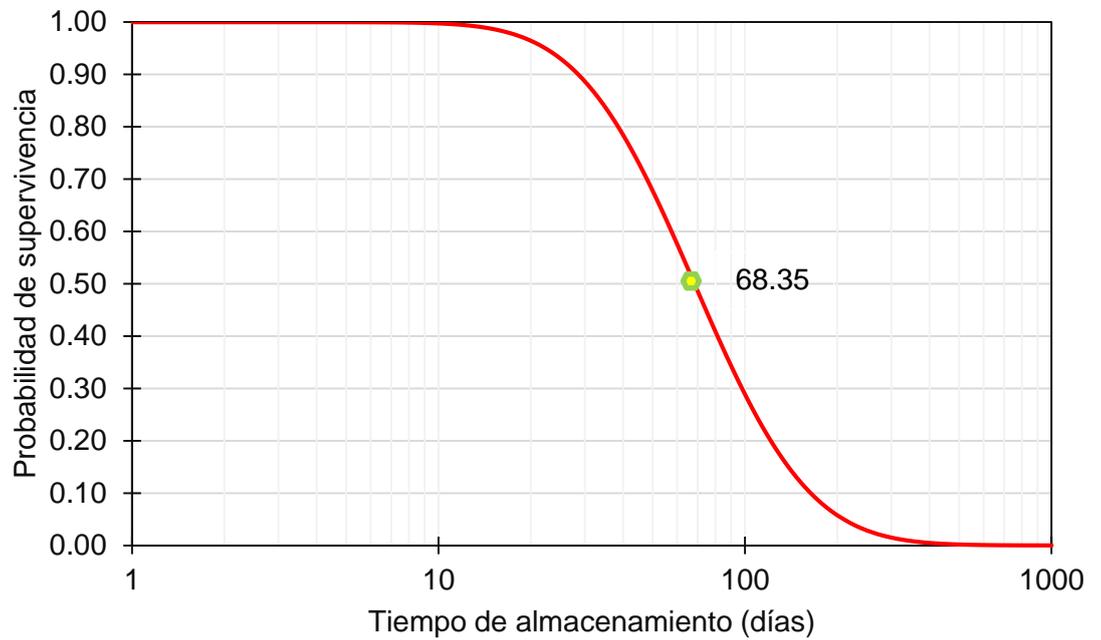


Figura 7. Función supervivencia a -6 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

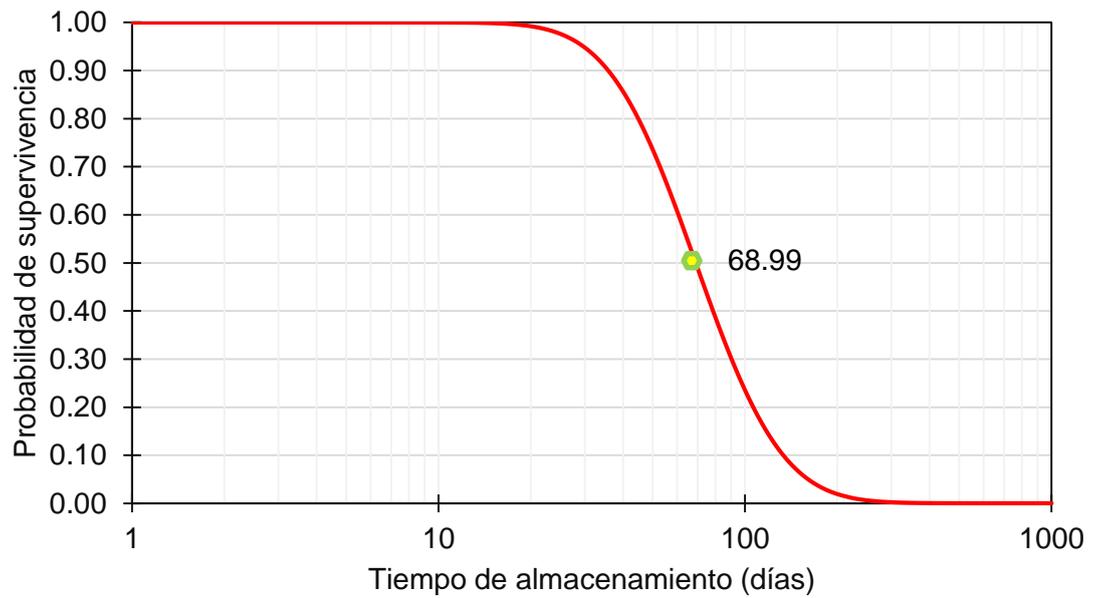


Figura 8. Función supervivencia a -12 °C en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

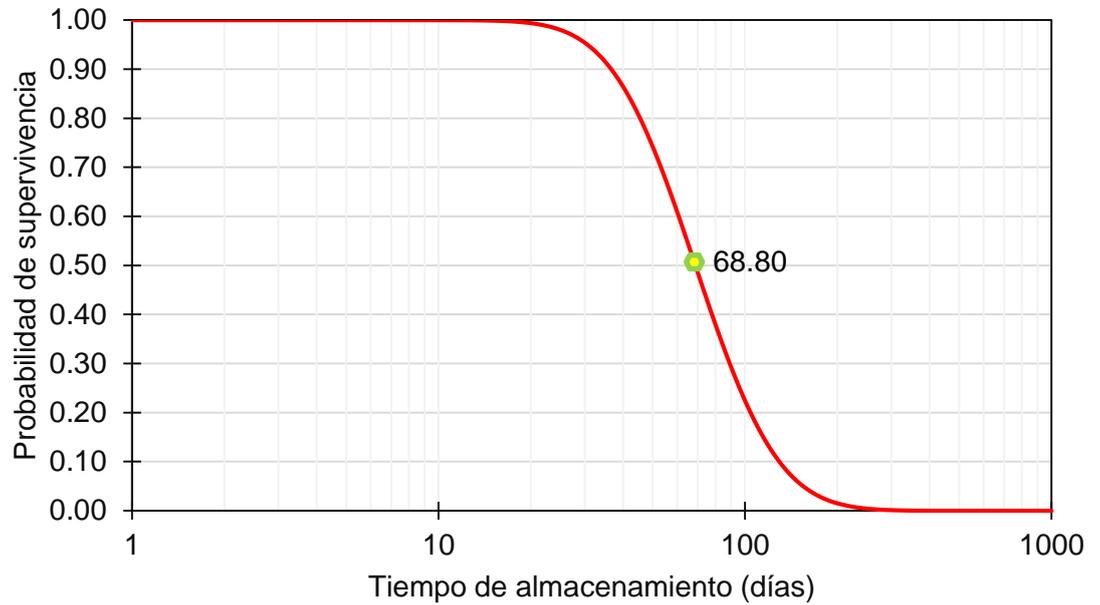


Figura 9. Función supervivencia a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

En la Figura 10 se presenta el tiempo de vida útil en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde se observa que no existe un cambio pronunciado a las temperaturas de almacenamiento acelerado de -6 , -12 y $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

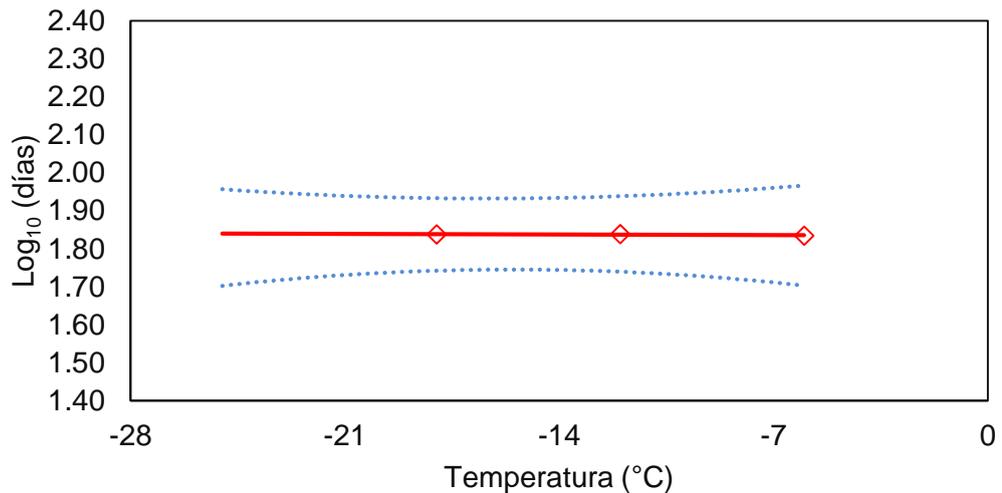


Figura 10. Tiempo de vida útil (días) en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

En el Cuadro 10 se presenta el tiempo de vida útil a condiciones habituales de almacenamiento congelado (-25 °C) en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada, el cual presentó una estimación puntual de 69.20 días con intervalo de confianza al 95% en el rango de 58.97 a 81.21 días.

Cuadro 10. Tiempo de vida útil estimado a condiciones habituales de almacenamiento congelado (-25 °C) en color sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Temperatura (°C)	Tiempo de vida estimada(días)		
	Puntual	Intervalo de confianza al 95%	
		Inferior	Superior
-25	69.20	58.97	81.21

Valenzuela (1996) determinó vida útil de 20 días para cubos de palta congelada (-18 °C) variedad Fuerte, con referencia al color sensorial; además, indica que donde existe una temperatura de almacenamiento de -18.0 °C, se reduce notablemente la velocidad de las reacciones químicas y se paralizan completamente las reacciones metabólicas celulares, lo cual indica que se inhibe la acción de la polifenoloxidasas, y la transformación de taninos de la palta, una catequina y una flavona en compuestos melanoides, que se visualiza como cambios en la coloración del producto.

El color natural de los alimentos se pierde como consecuencia de varios tipos de reacciones, ya que el color se debe a compuestos solubles en agua o aceite. El color cambia por co-oxidación de lípidos en productos como la palta que tienen alto contenido de grasa (García y otros, 2011).

Según Sánchez (2014) el color es un factor de la calidad de importancia fundamental de los alimentos, ya que la apreciación visual es el primer sentido que se utiliza y por tanto una característica decisiva en la elección del fruto la concentración de pigmentos u otros constituyentes específicos puede proporcionar un índice de calidad sensorial superior.

Los cambios de color durante el almacenamiento se deben a un proceso de pardeamiento que se desencadena cuando, tras la operación de corte se produce una pérdida de la integridad celular en las superficies de las frutas. Esto provoca una destrucción de la compartimentación de enzimas y sustratos, con lo que se catalizan las reacciones y se produce la formación de metabolitos secundarios no deseados. Para que el fenómeno de pardeamiento enzimático tenga lugar se requiere de la presencia de cuatro diferentes compuestos: el oxígeno molecular, sustratos apropiados, la polifenoloxidasas y la presencia de cobre en el centro activo de la enzima (Arteaga y Hawmann, 2014).

4.3.2. Firmeza sensorial

En el Cuadro 11 se presenta los parámetros de escala (α) y forma (β) a temperaturas de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada, obtenidos a partir de la prueba sensorial de aceptación y rechazo (Anexos 10, 11 y 12), además las censuras para cada temperatura de aceleramiento se encuentran en los Anexos 13.

Cuadro 11. Parámetros de escala (α) y forma (β) a temperaturas de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Parámetros	Temperatura (°C)		
	-6	-12	-18
α	64.86	75.97	89.59
β	1.94	1.70	2.05

En el Cuadro 12 se presenta el tiempo de vida útil estimado al 10, 25 y 50% de rechazo a temperatura de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada.

Cuadro 12. Tiempo de vida útil estimado al 10, 25 y 50% de rechazo a temperatura de aceleramiento de -6, -12 y -18 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Temperatura (°C)	Percentil	Estimado (días)	Intervalo de confianza al 95%	
			Inferior	Superior
-6	10	33.49	22.99	48.79
	25	45.81	35.42	59.24
	50	64.86	51.90	81.06
-12	10	35.68	21.96	57.97
	25	51.04	37.87	68.78
	50	75.97	56.82	101.56
-18	10	47.89	33.56	68.33
	25	64.43	51.42	80.74
	50	89.59	63.14	127.13

Hough y otros (2006) estimaron vida útil en muestras de carne cruda picada usando pruebas aceleradas y modelos estadísticos de supervivencia, con el 50% de rechazo el tiempo de vida útil fue de 88, 44 y 17 h para las temperaturas de 2, 9 y 19 °C, respectivamente.

Por su parte Olaeta (2003) indica que los cubos congelados de palta, al descongelar presentan una pérdida de firmeza que es detectada por el consumidor.

En la Figura 11, 12 y 13 se presenta la función supervivencia a -6, -12 y -18 °C en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde se observa que al transcurrir los días de almacenamiento la probabilidad de supervivencia disminuyó; el producto tuvo una supervivencia cercana al 100% hasta los 17 días para la temperatura de aceleramiento de -6 °C, de aproximadamente 18 días para -12 °C y de 25 días para -18 °C; con una probabilidad de supervivencia del 50% el producto tuvo un tiempo de vida útil aproximado 65, 76 y 90 días para -6, -12 y -18 °C, respectivamente.

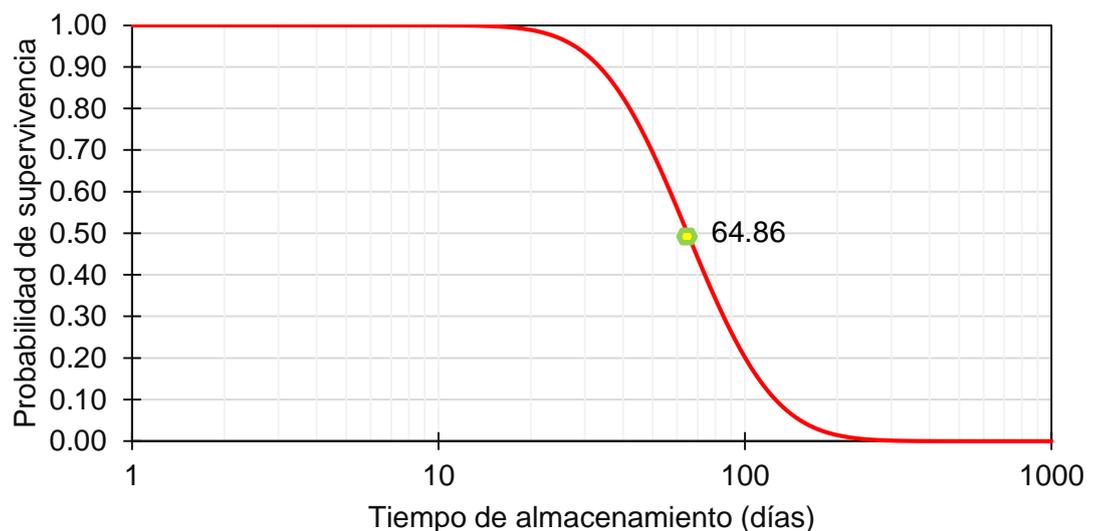


Figura 11. Función supervivencia a -6 °C en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

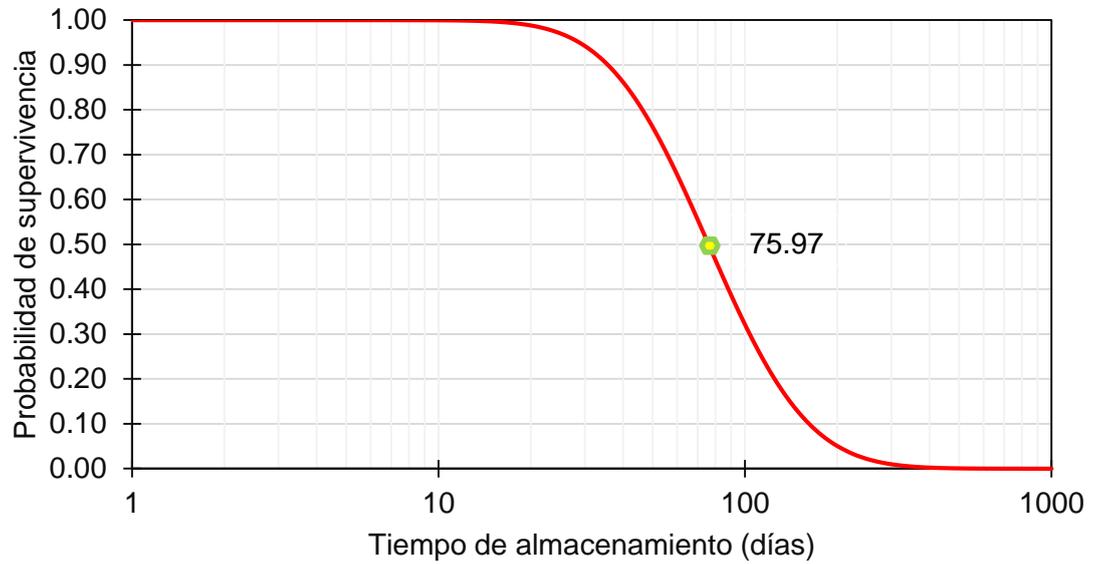


Figura 12. Función supervivencia a -12 °C en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

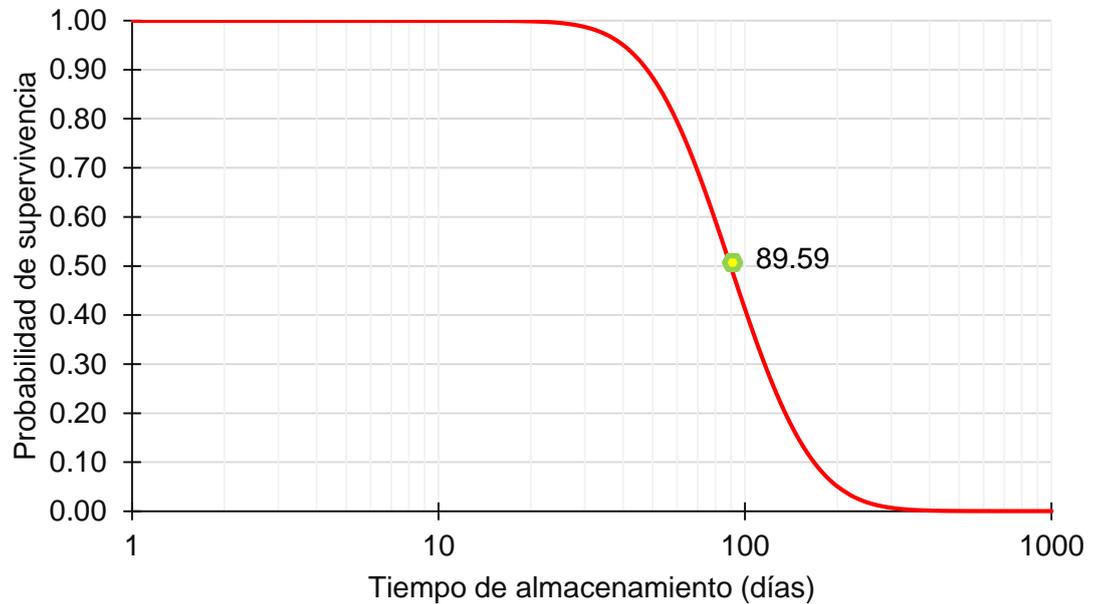


Figura 13. Función supervivencia a -18 °C en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

En la Figura 14 se presenta el tiempo de vida útil en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada, donde se observa que existe un

cambio pronunciado a las temperaturas de almacenamiento acelerado de -6, -12 y -18 °C, respectivamente (a mayor temperatura el tiempo de vida útil disminuyó).

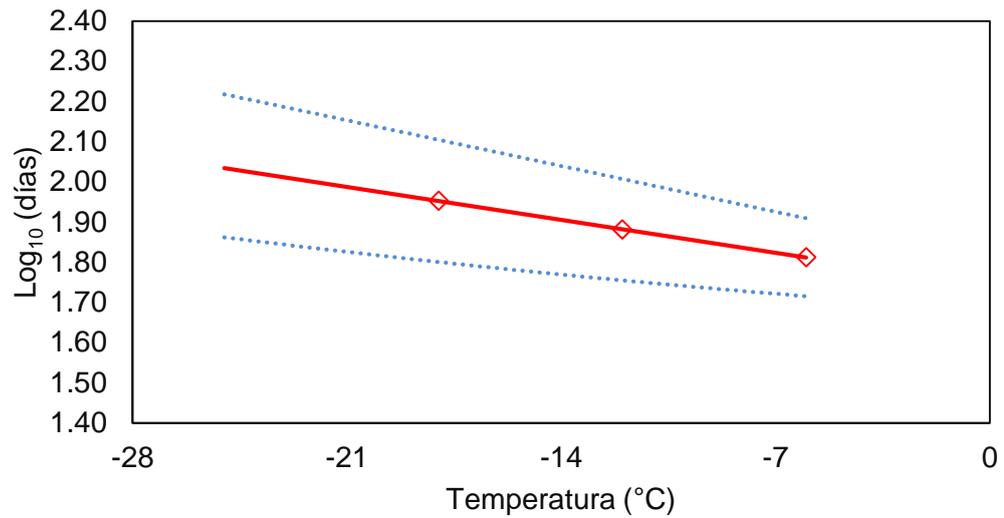


Figura 14. Tiempo de vida útil (días) en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

En el Cuadro 13 se presenta el tiempo de vida útil a condiciones habituales de almacenamiento congelado (-25 °C) en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada, el cual presentó una estimación puntual de 108.04 días con intervalo de confianza al 95% en el rango de 70.61 a 165.31 días.

Cuadro 13. Tiempo de vida útil estimado a condiciones habituales de almacenamiento congelado (-25 °C) en firmeza sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Temperatura (°C)	Tiempo de vida estimada(días)		
	Puntual	Intervalo de confianza al 95%	
		Inferior	Superior
-25	108.04	70.61	165.31

Valenzuela (1996) determinó vida útil de 60 días para cubos de palta congelada (-18 °C) variedad Fuerte, con referencia a la firmeza sensorial, además, indica que los cambios en la firmeza no aparece en el momento del descongelado completo, sino que se manifiesta por una pérdida de consistencia y exudación más o menos abundante la cual varía según la naturaleza de los tejidos congelados. Así, los productos vegetales, cuyas paredes celulares sean de menor grosor y estén formadas de pequeñas células, resisten mejor la acción combinada de congelar y descongelar, que aquellos tejidos formados por largas paredes gruesas celulares.

Según Olaeta (2003) los productos congelados de palta, pueden ser almacenados por 8-10 meses (240 a 300 días), sin embargo su calidad comienza a decrecer después de los 3 meses (90 días) de almacenaje. Además, en todos estos productos cobra especial importancia el control del pardeamiento enzimático, el cual debe realizarse utilizando antioxidantes ya que el uso de tratamientos con altas temperaturas afecta la calidad de la pulpa. Los antioxidantes más utilizados para mantener las condiciones de color son principalmente: el bisulfito de sodio, el ácido ascórbico, ácido isoascórbico y ácido cítrico.

García y otros (2011) indican que los alimentos que no se someten a tratamientos para inactivar las enzimas pueden catalizar ciertas reacciones que producen pérdida de firmeza durante el almacenamiento.

La mayor firmeza en las paltas puede ser explicada por el retardo en la degradación de las protopectinas insolubles a pectinas y ácidos pécticos más solubles. Durante la madurez de la fruta, la despolimerización o acortamiento de la longitud de la cadena de sustancias pécticas ocurre con el aumento de la actividad de la poligalacturonasa y pectinesterasa, que provoca una alteración a nivel de los componentes de la pared celular. Estas modificaciones celulares ocasionan pérdida de agua, que también es considerada como un factor importante para los cambios en la firmeza de frutas y vegetales (Sánchez, 2014).

V. CONCLUSIONES

El efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre el índice de pardeamiento y firmeza instrumental y sensorial de palta variedad Fuerte en cubos congelada, fue significativa.

A los 70 días de almacenamiento a -18 °C el índice de pardeamiento fue de 61.77 y la firmeza instrumental de 0.91 N en palta variedad Fuerte en cubos congelada

El tiempo de vida útil estimado a -25 °C para color y firmeza sensorial con el modelo de Weibull fue de 69.20 y 108.04 días, respectivamente en palta variedad Fuerte en cubos congelada

VI. RECOMENDACIONES

Validar el tiempo de vida útil estimado en palta variedad Fuerte en cubos congelada, con un estudio de vida útil a tiempo real.

Estimar el tiempo de vida útil en palta variedad Hass en cubos congelada.

Realizar una correlación entre firmeza instrumental y firmeza sensorial en cubos de palta congelada después del almacenamiento.

Evaluar la firmeza instrumental de los cubos de palta congelada previa a la congelación.

VII. BIBLIOGRAFIA

Abugattas, A. 2007. Efecto del tiempo de almacenaje sobre el porcentaje de acidez y aceptabilidad general de un yogurt batido entero. Tesis para obtener el título de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Ali, S., Zhang, W., Rajput, N., Khan, M. A., Li, C. B. and Zhou, G. H. 2015. Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat. *Food Chemistry*, 173, 808-814.

Arteaga, H. y Hawmann, D. 2014. Efecto del tiempo de tratamiento con ultrasonido y concentración de ácido cítrico y sal (NaCl) sobre la actividad de la polifenoloxidasas en pulpa de palta (*Persea americana* mill var. Hass). *Tecnología & Desarrollo*, 12: 51-58.

Cardelli, C. and Labuza, T. 2001. Application of Weibull Hazard Analysis to the Determination of the Shelf Life of Roasted and Ground Coffee. *Academia Press. Lebensm - Wiss. u.- Technology.*, 34: 273-278.

Casp, A y Abril, J. 2003. Procesos de conservación de alimentos. Segunda Edición. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.

Chao A. 2003. Utilización del método escalonado y la distribución de Weibull para la determinación de la vida en anaquel del chorizo parrillero. Tesis para optar el Grado de Magíster Scientiae, Escuela de Post Grado, Especialidad Tecnología de alimentos, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.

Chávez, M. 2009. Introducción al análisis de supervivencia con R. Tesis para obtener el título de Actuario. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 11 de noviembre del 2015 de: <http://www.cidpae.org.mx/documentos/documentos06.pdf>

CODEX STAN 197-1995. Codex Alimentarius para el aguacate. Recuperado el 14 de noviembre del 2015 de: www.codexalimentarius.org/input/download/standards/.../CXS_197s.pdf

Coll, F., Giannuzzi, L., y Zaritzky, N. 2007. Modelling microbial growth in meat broth with added lactic acid under refrigerated storage. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA). Universidad Nacional de la Plata, facultad de Ingeniería, La Plata-Argentina. *International Journal of Food Science and Technology*. (42): 175–184.

Collazos, C., Alvistur, J.; Vásquez, G.; Quiroz, M.; Herrera, A.; Roca, N. y Hernández, F. 1996. Tablas peruanas de composición de alimentos. Instituto de Nutrición, Ministerio de Salud. Lima. Perú.

Curia, A., Aguerrido, M., Langohr, K., & Hough, G. 2005. Survival analysis applied to sensory shelf-life of yogurts: I. Argentine formulations. *Journal Food Science*, in press.

Cruz, D. y Baldeón, S. 2012. Evaluación de los métodos de conservación de pasta de palta (*Persea americana* Mill) refrigerada en las variedades Hass y fuerte. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agroindustrial e Industrias Alimentarias. Universidad Nacional de Piura. Piura.

Duyvesteyn, W.; Shimoni, E. and Labuza, T. 2001. Determination of the end of Shelf Life for Milk using Weibull Hazard Method. *Academia Press Lebensm. – Wiss. u. – Technology*, 34: 143-148.

Fernández, P., Otero, L., Guignon, B. y Sanz, P. 2006. High-pressure shift freezing versus high-pressure assisted freezing: Effects on the microstructure of a food model. *Food Hydrocolloids*, 20(4), 510-522.

Gácula, M. and Kubala, J. 1975. Statistical Methods for Shelf Life Failures. *Journal of Food Science.*, 40: 404.

Gácula, M. and Singh, J. 1984. Statistical methods in food and consumers research. New York: Academic Press, 505 pp.

García, C., Chacón, G. y Molina, M. 2011. Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. Revista: Ingeniería 21 (2): 31-38, ISSN: 1409-2441. San José, Costa Rica.

García, C. y Molina, M. 2008. Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. Revista de la Universidad de Costa Rica, 18 (2): 57–64.

García, T. y Quintanilla, J. 2003. Análisis del valor agregado: producción de palta en trozos. Diseño y Tecnología Industrial, 6(2): 12-19.

Garitta, L; Gómez, G y Curia, A. 2005. Metodología de Estadística de Supervivencia. Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Valencia, España.

Gutiérrez, M.; Oliveira, C.; Melo, F.; Silveira, V.; Gutiérrez, M.; Oliveira, C y Melo, F. 2017. Limit growth of ice crystals under different temperature oscillations levels in Nile Tilapia. Food Science and Technology, 37. Pág. 5-10.

Hough, G.; Puglieso, M.; Sanchez, R. y Mendes Da Silva, O. 1999. Sensory and Microbiological Shelf Life of a commercial Ricotta Cheese. Journal of Dairy Science, 82:454-459.

Hough, G.; Langohr K.; Gómez G. y Curia A. 2003. Survival Analyses Applied to Sensory Shelf Life of Foods. Sensory and Nutritive Qualities of Food. Journal of Food Science, 68(1): 359-362.

Hough, G y Fiszman, S. 2005. Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. 1ra edición. CYTED. Madrid, España.

Hough, G., Garitta, L. y Gómez, G. 2006. Sensory shelf-life predictions by survival analysis accelerated storage models. *Food Quality and Preference*, 17: 468–473.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 2005. Investigación de palto. Recuperado el 16 de noviembre del 2015 de: [www.isag.com/mercados de palto](http://www.isag.com/mercados-de-palto).

kiger, F., Ceballos, S., Basaez, G. y Galeb, P. 1980. Preservación de palta (*Persea americana* Mill) variedad Fuerte, mediante el uso de aditivos químicos y bajas temperaturas. *Investigación agrícola*, 6(1): 33-38

Kong, C; Hamid, N; Ma, Q; Lu, J; Wang, B. y Sarojini, V. 2017. Antifreeze peptide pretreatment minimizes freeze-thaw damage to cherries: An in-depth investigation. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie-Food Science and Technology*, 84, 441-448.

Klein, J. y Moeschberger, M. 1997. *Survival analysis, a self-learning text*. New York: Springer-Verlag. USA.

León, M. 2014. Estimación de vida útil, mediante pruebas aceleradas, de conserva de mitades de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) a la parrilla en aceite de girasol (*Helianthus annuus* L.). Tesis para obtener el título de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Liang, D; Lin, F; Yang, G; Yue, X; Zhang, Q; Zhang, Z. y Chen, H. 2015. Advantages of immersion freezing for quality preservation of litchi fruit during frozen storage. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie-Food Science and Technology*, 60(2), 948-956.

Man, J. 2004. *Shelf-life evaluation of foods*. Londres: Blackie Academic & Professional, 30. Pág. 3-39.

Martínez, L. 2011. Métodos de inferencia para la distribución Weibull: aplicación en fiabilidad industrial. Tesis para obtener el grado de Maestro en Técnicas Estadísticas. Universidad de Vigo. España.

MINAG. 2017. Boletín estadístico de producción agrícola, pecuaria y avícola. Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado el 1 de septiembre del 2017 de: http://siea.minag.gob.pe/siea/sites/default/files/produccionagricolapecuaria_avicola-dic17_2_0.pdf.

MINAG. 2017. Boletín palta peruana. Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado el 2 de septiembre del 2017 de:

<http://www.minagri.gob.pe/portal/analisiseconomico/analisis2017download=11096:boletin-de-la-palta-peruana>.

Morillas, M. 2014. Estimación de la vida útil de salsa de *Persea americana* Mill (Palta) Var. Hass envasada al vacío, mediante pruebas aceleradas. Tesis para obtener el título de Ingeniera Agroindustrial. Universidad Cesar Vallejo. Trujillo, Perú.

Ndoye, F y Alvarez, G. 2015. Characterization of ice recrystallization in ice cream during storage using the focused beam reflectance measurement. *Journal of Food Engineering*, 148, 24-34.

Olaeta, J. 1991. Industrialización de paltas. Curso internacional de producción, postcosecha y comercialización de paltas. Universidad Católica de Valparaíso. Viña del Mar. Chile.

Olaeta, J. 2003. Industrialización del aguacate: estado actual y perspectivas futuras. V congreso internacional de aguacate. Universidad Católica de Valparaíso-Chile.

Oliveira, M., Gubert, G., Roman, S., Kempka, A. y Prestes, R. 2015. Meat quality of chicken breast subjected to different thawing methods. *Revista Brasileira de Ciencia Avícola*, 17(2): 165-171.

Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G., Welti-Chanes, J y Swanson, B. 1999. Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science*,42-45.

Palazón, M., Pérez, D., Abellán, P. Ros, G., Romero, F. y Vidal, M. 2009. Determination of shelf-life of homogenized apple-based beikost storage at different temperatures using Weibull hazard model. *LWT - Food Science and Technology*, 42: 319–326.

Posada, C. 2011. Recopilación de estudios de tiempos de vida útil de productos nuevos y ya existentes de la compañía de galletas Noel S.A.S. Informe de prácticas para obtener el título de Ingeniera de Alimentos. Corporación Universitaria Lasallista. Caldas, Colombia. Recuperado el 16 de noviembre del 2015 de: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/683/1/Recopilacion_estudios_vida_util.pdf.

Reyes, M. 2017. Tablas peruanas de composición de alimentos. Instituto Nacional de Salud. Ministerio de Salud. Lima, Perú.

Sánchez, Y. 2014. Efecto de la aplicación de coberturas biodegradables y la temperatura sobre el color, firmeza, pérdida de peso y aceptabilidad general en la palta fuerte (*Persea americana*). Tesis para obtener el título de Ingeniera de Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

SAVSA. 2015. Manual de Aseguramiento de la calidad.

Silva, D. 2013. Determinación del tiempo de vida útil sensorial de ají de gallina envasado en frascos de vidrio mediante estadística de supervivencia con pruebas aceleradas. Tesis para obtener por el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Cesar Vallejo. Trujillo, Perú.

Sun, D. 2011. *Handbook of Frozen Food Processing and Packaging*. 2nd Edition. CRC Press / Taylor & Francis, Boca Raton. Florida, USA.

Valera, P., Salvador, A. y Fiszman, S. 2005. Shelf-life estimation of 'Fuji' apples: Sensory characteristics and consumer acceptability. *Postharvest Biology and Technology*, 38: 18–24.

Valenzuela, R. 1996. Evaluación de congelado en palta (*Persea americana* Mill), en los cultivares Fuerte, Hass, Edranol y Bacon bajo distintas formulaciones. Tesis para obtener el título de Ingeniera Agrónoma. Universidad Católica de Valparaíso. Chile.

Vallejos; C. 2010. Efecto del pH, tipo de envase y tiempo de almacenamiento sobre la oxidación lipídica, color y aceptabilidad general del puré de palta (*Persea americana*) variedad Fuerte. Tesis para obtener por el título de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Wang, Y; Miyazaki, R; Saitou, S; Hirasaka, K; Takeshita, S; Tachibana, K y Taniyama, S. 2017. The effect of ice crystals formations on the flesh quality of frozen horse mackerel (*Trachurus japonicus*). *Journal of Texture Studies*, 1: 1-7.

Zhang, M., Li, F., Diao, X., Kong, B. y Xia, X. 2017. Moisture migration, microstructure damage and protein structure changes in porcine longissimus muscle as influenced by multiple freeze-thaw cycles. *Meat Science*, 133: 10-18.

Zhu, Z.; Zhou, Q. y Sun, D. W. 2019. Measuring and Controlling Ice Crystallization in Frozen Foods: A Review of Recent Developments. *Trends in Food Science & Technology*.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Aceptación y rechazo de color sensorial a -6 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Consumidor	Tiempo de almacenamiento acelerado (días)										
	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
1	si	si	si	si	si	no	no	no	no	no	si
2	si	si	no	si	si	si	si	no	si	no	no
3	si	si	si	si	si	si	no	no	no	si	no
4	si	si	si	si	si	no	no	no	no	si	no
5	si	si	si	si	no	no	no	si	no	no	si
6	si	no	no	si	si	no	si	si	no	no	no
7	si	si	si	si	no	no	si	no	si	no	no
8	si	si	si	si	no	si	no	si	no	no	no
9	si	si	si	si	si	no	si	no	si	no	si
10	si	si	si	si	si	no	si	si	si	no	si
11	si	no	si	si	si	si	si	no	si	si	no
12	si	si	si	si	no	no	no	no	no	si	si
13	si	si	no	si	si	si	no	si	si	no	no
14	si	si	si	si	si	si	si	si	no	si	si
15	si	si	si	si	si	no	no	si	si	si	no
16	si	si	si	si	no	si	no	si	no	si	no
17	si	no	si	no	no	no	si	si	si	no	no
18	si	si	si	no	si	no	si	no	si	si	si
19	si	no	no	si	si	no	si	no	no	si	si
20	si	no	si	si	si	si	no	no	no	no	no
21	si	si	si	si	si	no	no	si	si	no	si
22	si	si	si	si	no	si	no	si	si	si	si
23	si	si	si	si	no						
24	si	si	si	no	no	si	no	si	si	si	si
25	si	si	si	si	si	no	si	si	no	si	si
26	si	si	si	si	si	no	no	no	no	si	si
27	si	no	no	si	si	si	no	no	no	si	no
28	si	si	si	si	si	si	si	si	si	no	si
29	si	si	si	si	si	si	si	si	si	no	si
30	si	si	si	si	si	no	si	no	no	si	no

**Anexo 2. Aceptación y rechazo de color sensorial a -12 °C de palta
variedad Fuerte en cubos congelada**

Consumidor	Tiempo de almacenamiento acelerado (días)										
	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
1	si	si	si	si	si	no	si	no	no	si	no
2	si	no	si	si	si	si	no	no	si	no	si
3	si	si	no	si	si	no	si	no	no	no	si
4	si	si	si	no	si	no	si	no	si	no	no
5	si	no	si	no	si	no	si	si	si	no	no
6	si	no	no	no	si	si	si	no	no	no	si
7	si	si	si	no	si	no	si	si	si	no	si
8	si	no	no	si	no	no	si	si	no	no	si
9	si	si	si	si	no	si	no	no	si	no	si
10	si	si	no	no	no	si	no	no	no	si	no
11	si	si	si	si	si	no	no	no	no	no	si
12	si	si	no	si	no	si	si	no	si	si	no
13	si	no	si	no	si	no	no	si	no	si	no
14	si	no	no	no	no	si	si	no	no	no	si
15	si	si	si	no	no	no	si	si	no	no	no
16	si	no	si	si	si	si	si	no	si	no	no
17	si	si	si	no	no	si	si	si	no	no	si
18	si	si	si	no	no	no	si	no	si	no	si
19	si	no	no	si	si	si	si	si	si	no	no
20	si	si	no	si	si	no	no	si	no	si	si
21	si	si	si	no	si	si	si	no	si	no	no
22	si	si	si	si	si	si	si	no	no	si	no
23	si	si	si	si	no	no	si	no	no	si	no
24	si	si	si	si	no	no	si	si	no	no	si
25	si	si	si	no	no	si	si	no	no	si	no
26	si	si	si	si	no	si	no	no	si	no	no
27	si	si	si	si	si	no	no	si	si	no	no
28	si	si	si	no	no	si	si	no	no	no	si
29	si	si	si	no	no	no	si	si	si	no	si
30	si	si	si	si	si	si	si	si	no	si	si

**Anexo 3. Aceptación y rechazo de color sensorial a -18 °C de palta
variedad Fuerte en cubos congelada**

Consumidor	Tiempo de almacenamiento acelerado (días)										
	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
1	si	si	si	si	si	no	si	si	si	no	no
2	si	si	si	si	si	si	no	no	si	si	si
3	si	si	si	si	si	si	no	si	si	no	si
4	si	no	si	si	si	no	no	si	no	no	si
5	si	si	si	no	si	si	no	si	si	no	no
6	si	si	si	si	no	no	no	si	si	si	si
7	si	no	no	si	si	si	no	si	no	si	no
8	si	no	si	si	si	si	no	si	no	no	si
9	si	no	si	si	si	no	no	si	si	no	si
10	si	si	no	si	si	si	no	no	no	si	si
11	si	si	si	si	si	no	no	si	no	no	no
12	si	no	si	si	si	no	si	si	no	no	no
13	si	no	si	si	no	no	si	no	no	si	si
14	si	si	si	si	si	no	si	si	si	si	no
15	si	si	si	no	si	si	si	no	no	si	si
16	si	si	si	si	si	no	no	no	no	si	no
17	si	no	no	si	si	si	no	no	si	no	no
18	si	si	si	si	si	no	si	si	si	no	no
19	si	si	si	no	si	no	no	no	si	si	no
20	si	no	no	no	si	no	si	no	no	si	si
21	si	si	si	no	si	si	si	no	si	si	no
22	si	si	si	no	no	no	no	no	si	si	no
23	si	no	si	si	no	si	si	si	no	no	si
24	si	si	si	si	si	no	si	no	si	no	si
25	si	si	si	no	no	si	no	si	si	si	si
26	si	si	si	si	no	no	si	si	si	si	no
27	si	no	no	si	si	no	no	si	si	si	si
28	si	si	si	si	no	si	no	no	si	si	no
29	si	si	si	si	si	no	no	si	no	no	si
30	si	si	si	no	no	si	no	no	si	no	no

**Anexo 4. Aceptación y rechazo de firmeza sensorial a -6 °C de palta
variedad Fuerte en cubos congelada**

Consumidor	Tiempo de almacenamiento acelerado (días)										
	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
1	si	si	si	si	si	no	si	si	no	no	si
2	si	no	si	si	si	no	si	no	si	no	si
3	si	si	si	si	si	si	no	no	si	no	no
4	si	si	no	no	si	si	si	no	no	no	si
5	si	si	si	si	si	no	si	si	no	no	no
6	si	si	no	si	si	si	no	si	si	si	si
7	si	si	si	no	si	no	si	si	no	no	no
8	si	si	si	si	si	no	no	si	no	si	no
9	si	si	si	si	si	no	si	si	no	si	si
10	si	si	si	si	si	no	no	no	no	si	no
11	si	no	si	no	no	no	si	si	si	no	no
12	si	si	si	si	no	si	si	si	no	no	no
13	si	no	si	si	si	si	si	si	no	no	no
14	si	si	si	si	no	si	no	no	no	no	no
15	si	no	si	no	no	no	no	si	no	no	si
16	si	no	si	si	no	no	no	no	si	si	si
17	si	no	si	no	si	no	si	si	si	si	no
18	si	si	si	si	si	si	si	no	no	no	no
19	si	no	si	si	si	si	si	no	si	no	no
20	si	no	si	si	no	si	si	si	si	no	si
21	si	si	si	si	si	no	si	si	si	si	si
22	si	si	si	si	no	si	no	no	no	si	no
23	si	si	si	si	si	no	si	no	si	si	no
24	si	si	si	no	no	no	si	no	si	si	si
25	si	si	si	si	no	si	si	si	no	no	no
26	si	si	si	si	no	si	si	si	si	si	si
27	si	si	si	si	no	no	si	no	si	si	si
28	si	si	si	si	si	no	no	si	no	si	si
29	si	si	si	si	si	no	si	si	no	si	si
30	si	si	si	si	si	no	si	si	si	si	no

**Anexo 5. Aceptación y rechazo de firmeza sensorial a -12 °C de palta
variedad Fuerte en cubos congelada**

Consumidor	Tiempo de almacenamiento acelerado (días)										
	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
1	si	si	si	si	si	si	si	si	no	no	si
2	si	no	no	si	si	no	si	no	si	si	si
3	si	no	si	si	si	no	si	no	si	no	si
4	si	no	no	no	si	no	si	si	si	no	si
5	si	no	si	no	si	si	no	no	no	si	si
6	si	si	no	no	si	si	si	no	no	no	no
7	si	si	si	no	si	si	si	si	no	si	si
8	si	si	no	si	no	no	si	no	si	si	si
9	si	si	si	si	no	si	no	si	no	no	si
10	si	si	no	no	no	si	si	si	si	si	no
11	si	si	si	si	no	no	no	si	si	si	no
12	si	si	si	si	no	si	si	no	si	si	no
13	si	no	si	no	no	si	si	no	no	no	si
14	si	si	no	no	si	no	si	si	no	no	si
15	si	no	no	no	no	si	si	no	no	si	si
16	si	si	si	si	si	no	no	si	no	no	si
17	si	si	no	no	no	si	si	si	si	no	no
18	si	si	si	si	no	no	si	si	no	si	no
19	si	no	si	no	si	no	si	no	si	no	no
20	si	si	si	si	si	no	si	si	si	si	si
21	si	si	si	no	si	no	no	si	no	no	no
22	si	si	si	si	si	no	no	no	no	si	no
23	si	si	si	si	si	si	no	no	si	si	si
24	si	si	si	si	no	no	no	si	si	si	si
25	si	si	si	si	si	no	si	no	si	si	si
26	si	si	si	si	si	no	no	si	no	si	no
27	si	no	si	no	no	no	no	si	no	si	si
28	si	si	si	si	si	si	si	no	si	no	no
29	si	si	no	si	no	no	no	si	si	no	no
30	si	si	si	si	no	si	si	si	no	no	no

**Anexo 6. Aceptación y rechazo de firmeza sensorial a -18 °C de palta
variedad Fuerte en cubos congelada**

Consumidor	Tiempo de almacenamiento acelerado (días)										
	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
1	si	si	si	si	no	no	si	no	no	si	no
2	si	si	si	si	si	no	no	si	no	no	si
3	si	si	si	no	si	no	no	no	no	si	si
4	si	si	no	si	si	si	no	si	si	si	si
5	si	no	si	no	si	si	si	si	no	si	no
6	si	si	si	si	si	si	si	no	si	si	si
7	si	si	si	si	si	no	no	si	no	si	no
8	si	si	si	si	no	no	no	no	si	si	si
9	si	no	no	si	si	si	si	no	no	si	si
10	si	si	si	si	si	no	si	si	si	si	si
11	si	si	si	si	no	no	si	no	no	no	si
12	si	no	no	si	no	no	si	si	si	no	si
13	si	no	si	si	si	si	no	no	si	no	si
14	si	si	si	si	si	no	no	no	si	no	si
15	si	si	si	si	si	si	si	si	no	no	no
16	si	no	si	si	si	si	si	si	no	si	si
17	si	no	si	si	si	no	no	si	no	no	si
18	si	si	si	si	no	si	no	no	si	no	no
19	si	si	si	si	si	o	si	no	no	no	si
20	si	si	si	no	si	no	no	si	no	no	no
21	si	no	si	no	no	no	si	no	si	si	si
22	si	si	si	si	si	no	no	no	si	si	no
23	si	no	si	si	no	no	no	si	no	si	si
24	si	si	si	no	si	si	no	si	si	no	si
25	si	si	si	si	no	no	si	si	no	si	si
26	si	si	si	si	si	no	no	si	si	no	no
27	si	si	si	si	si	si	no	si	si	si	no
28	si	si	si	si	no	si	si	no	no	si	si
29	si	si	si	si	no	si	no	no	no	si	si
30	si	si	si	si	si	si	si	no	si	no	si

Anexo 7. Censura de color sensorial a -6 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Consumidor	Tiempo (días)		Censura
	Menor	Mayor	
1	70	70	Derecha
2	7	63	Intervalo
3	35	70	Intervalo
4	28	70	Intervalo
5	70	70	Derecha
6	56	56	Izquierda
7	21	63	Intervalo
8	21	56	Intervalo
9	70	70	Derecha
10	70	70	Derecha
11	70	70	Izquierda
12	70	70	Derecha
13	7	63	Intervalo
14	70	70	Derecha
15	28	70	Intervalo
16	21	70	Intervalo
17	63	63	Izquierda
18	70	70	Derecha
19	70	70	Derecha
20	42	42	Izquierda
21	70	70	Derecha
22	70	70	Derecha
23	21	28	Intervalo
24	70	70	Derecha
25	70	70	Derecha
26	70	70	Derecha
27	70	70	Izquierda
28	70	70	Derecha
29	70	70	Derecha
30	28	70	Intervalo

Anexo 8. Censura de color sensorial a -12 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Consumidor	Tiempo (días)		Censura
	Menor	Mayor	
1	28	70	Intervalo
2	70	70	Derecha
3	70	70	Derecha
4	14	63	Intervalo
5	63	63	Izquierda
6	70	70	Derecha
7	70	70	Derecha
8	70	70	Derecha
9	70	70	Derecha
10	7	70	Intervalo
11	70	70	Derecha
12	7	70	Intervalo
13	70	70	Izquierda
14	70	70	Derecha
15	14	56	Intervalo
16	63	63	Izquierda
17	70	70	Derecha
18	70	70	Derecha
19	63	63	Izquierda
20	70	70	Derecha
21	14	63	Intervalo
22	42	70	Intervalo
23	21	70	Intervalo
24	70	70	Derecha
25	14	70	Intervalo
26	21	63	Intervalo
27	28	63	Intervalo
28	70	70	Derecha
29	70	70	Derecha
30	70	70	Derecha

Anexo 9. Censura de color sensorial a -18 °C de palta variedad Fuerte en cubos congelada

Consumidor	Tiempo (días)		Censura
	Menor	Mayor	
1	28	63	Intervalo
2	70	70	Derecha
3	70	70	Derecha
4	70	70	Derecha
5	14	63	Intervalo
6	70	70	Derecha
7	70	70	Izquierda
8	70	70	Derecha
9	70	70	Derecha
10	70	70	Derecha
11	28	56	Intervalo
12	56	56	Izquierda
13	70	70	Derecha
14	28	70	Intervalo
15	70	70	Derecha
16	28	70	Intervalo
17	63	63	Izquierda
18	28	63	Intervalo
19	14	70	Intervalo
20	70	70	Derecha
21	14	70	Intervalo
22	14	70	Intervalo
23	70	70	Derecha
24	70	70	Derecha
25	70	70	Derecha
26	21	70	Intervalo
27	70	70	Derecha
28	21	70	Intervalo
29	70	70	Derecha
30	14	63	Intervalo

**Anexo 10. Censura de firmeza sensorial a -6 °C de palta variedad
Fuerte en cubos congelada**

Consumidor	Tiempo (días)		Censura
	Menor	Mayor	
1	70	70	Derecha
2	70	70	Derecha
3	35	63	Intervalo
4	70	70	Derecha
5	28	56	Intervalo
6	70	70	Derecha
7	14	56	Intervalo
8	28	70	Intervalo
9	70	70	Derecha
10	28	70	Intervalo
11	63	63	Izquierda
12	21	56	Intervalo
13	56	56	Izquierda
14	21	42	Intervalo
15	70	70	Derecha
16	70	70	Derecha
17	70	70	Izquierda
18	42	49	Intervalo
19	63	63	Izquierda
20	70	70	Derecha
21	70	70	Derecha
22	21	70	Intervalo
23	28	70	Intervalo
24	70	70	Derecha
25	21	56	Intervalo
26	70	70	Derecha
27	70	70	Derecha
28	70	70	Derecha
29	70	70	Derecha
30	28	70	Intervalo

**Anexo 11. Censura de firmeza sensorial a -12 °C de palta variedad
Fuerte en cubos congelada**

Consumidor	Tiempo (días)		Censura
	Menor	Mayor	
1	70	70	Derecha
2	70	70	Derecha
3	70	70	Derecha
4	70	70	Derecha
5	70	70	Derecha
6	7	49	Intervalo
7	70	70	Derecha
8	70	70	Derecha
9	70	70	Derecha
10	7	70	Intervalo
11	21	70	Intervalo
12	21	70	Intervalo
13	70	70	Derecha
14	70	70	Derecha
15	70	70	Derecha
16	70	70	Derecha
17	7	63	Intervalo
18	21	70	Intervalo
19	63	63	Izquierda
20	70	70	Derecha
21	14	56	Intervalo
22	28	70	Intervalo
23	70	70	Derecha
24	70	70	Derecha
25	70	70	Derecha
26	28	70	Intervalo
27	70	70	Derecha
28	42	63	Intervalo
29	7	63	Intervalo
30	21	56	Intervalo

**Anexo 12. Censura de firmeza sensorial a -18 °C de palta variedad
Fuerte en cubos congelada**

Consumidor	Tiempo (días)		Censura
	Menor	Mayor	
1	21	70	Intervalo
2	70	70	Derecha
3	70	70	Derecha
4	70	70	Derecha
5	70	70	Izquierda
6	70	70	Derecha
7	28	70	Intervalo
8	70	70	Derecha
9	70	70	Derecha
10	70	70	Derecha
11	70	70	Derecha
12	70	70	Derecha
13	70	70	Derecha
14	70	70	Derecha
15	49	56	Intervalo
16	70	70	Derecha
17	70	70	Derecha
18	21	63	Intervalo
19	70	70	Derecha
20	14	56	Intervalo
21	70	70	Derecha
22	28	70	Intervalo
23	70	70	Derecha
24	70	70	Derecha
25	70	70	Derecha
26	28	63	Intervalo
27	35	70	Intervalo
28	70	70	Derecha
29	70	70	Derecha
30	70	70	Derecha

**Anexo 13. Firmeza instrumental e índice de pardeamiento de palta
variedad Fuerte en cubos congelada**

Tiempo (días)	Temperatura (°C)	Firmeza (N)	Índice de pardeamiento
0	-18	2.95	38.06
0	-18	2.99	47.18
0	-18	3.04	42.26
Promedio		2.99	42.50
Desv. Estándar		0.04	4.57
0	-12	2.87	32.02
0	-12	2.90	47.44
0	-12	2.89	50.82
Promedio		2.89	43.42
Desv. Estándar		0.02	10.02
0	-6	2.89	34.31
0	-6	2.93	42.14
0	-6	2.97	61.06
Promedio		2.93	45.84
Desv. Estándar		0.04	13.75
7	-18	2.74	39.81
7	-18	2.79	43.63
7	-18	2.73	46.16
Promedio		2.75	43.20
Desv. Estándar		0.04	3.20
7	-12	2.79	45.24
7	-12	2.76	37.72
7	-12	2.73	46.62
Promedio		2.76	43.19
Desv. Estándar		0.03	4.79
7	-6	2.47	37.55
7	-6	2.43	49.49
7	-6	2.32	46.96
Promedio		2.40	44.66
Desv. Estándar		0.08	6.29

**Anexo 13. Firmeza instrumental e índice de pardeamiento de palta
variedad Fuerte en cubos congelada (continuación)**

Tiempo (días)	Temperatura (°C)	Firmeza (N)	Índice de pardeamiento
14	-18	2.52	34.89
14	-18	2.44	49.24
14	-18	2.54	50.57
Promedio		2.50	44.90
Desv. Estándar		0.05	8.69
14	-12	2.44	43.21
14	-12	2.50	53.45
14	-12	2.41	41.56
Promedio		2.45	46.07
Desv. Estándar		0.05	6.44
14	-6	2.08	38.60
14	-6	2.05	44.60
14	-6	2.07	61.77
Promedio		2.07	48.33
Desv. Estándar		0.02	12.02
21	-18	2.20	42.71
21	-18	2.26	46.58
21	-18	2.20	43.70
Promedio		2.22	44.33
Desv. Estándar		0.03	2.01
21	-12	2.19	48.16
21	-12	2.18	58.83
21	-12	2.21	51.27
Promedio		2.19	52.75
Desv. Estándar		0.01	5.49
21	-6	1.84	50.54
21	-6	1.81	62.08
21	-6	1.76	58.80
Promedio		1.80	57.14
Desv. Estándar		0.04	5.95

**Anexo 13. Firmeza instrumental e índice de pardeamiento de palta
variedad Fuerte en cubos congelada (continuación)**

Tiempo (días)	Temperatura (°C)	Firmeza (N)	Índice de pardeamiento
28	-18	1.95	60.01
28	-18	1.85	54.10
28	-18	1.91	49.11
Promedio		1.90	54.41
Desv. Estándar		0.05	5.46
28	-12	1.71	75.21
28	-12	1.62	46.96
28	-12	1.58	52.07
Promedio		1.64	58.08
Desv. Estándar		0.06	15.05
28	-6	1.20	55.03
28	-6	1.07	60.56
28	-6	1.12	70.35
Promedio		1.13	61.98
Desv. Estándar		0.07	7.76
35	-18	1.81	49.24
35	-18	1.81	61.40
35	-18	1.86	61.37
Promedio		1.83	57.34
Desv. Estándar		0.03	7.01
35	-12	1.56	65.80
35	-12	1.46	66.13
35	-12	1.49	50.20
Promedio		1.50	60.71
Desv. Estándar		0.05	9.11
35	-6	0.99	61.25
35	-6	0.97	68.03
35	-6	0.95	61.77
Promedio		0.97	63.68
Desv. Estándar		0.02	3.77

**Anexo 13. Firmeza instrumental e índice de pardeamiento de palta
variedad Fuerte en cubos congelada (continuación)**

Tiempo (días)	Temperatura (°C)	Firmeza (N)	Índice de pardeamiento
42	-18	1.70	63.83
42	-18	1.72	56.10
42	-18	1.76	59.15
Promedio		1.73	59.69
Desv. Estándar		0.03	3.90
42	-12	1.57	48.09
42	-12	1.54	62.27
42	-12	1.57	67.85
Promedio		1.56	59.40
Desv. Estándar		0.01	10.18
42	-6	0.93	64.90
42	-6	0.90	61.62
42	-6	0.89	68.61
Promedio		0.91	65.04
Desv. Estándar		0.02	3.50
49	-18	1.49	47.06
49	-18	1.52	51.81
49	-18	1.53	61.79
Promedio		1.51	53.55
Desv. Estándar		0.02	7.52
49	-12	1.23	60.10
49	-12	1.10	50.64
49	-12	1.07	59.30
Promedio		1.13	56.68
Desv. Estándar		0.09	5.24
49	-6	0.89	73.24
49	-6	0.90	67.70
49	-6	0.87	65.08
Promedio		0.89	68.68
Desv. Estándar		0.02	4.17

**Anexo 13. Firmeza instrumental e índice de pardeamiento de palta
variedad Fuerte en cubos congelada (continuación)**

Tiempo (días)	Temperatura (°C)	Firmeza (N)	Índice de pardeamiento
56	-18	1.35	60.01
56	-18	1.35	54.10
56	-18	1.27	49.11
Promedio		1.33	54.41
Desv. Estándar		0.05	5.46
56	-12	0.93	65.80
56	-12	0.83	66.13
56	-12	0.81	50.20
Promedio		0.85	60.71
Desv. Estándar		0.06	9.11
56	-6	0.84	61.25
56	-6	0.80	68.03
56	-6	0.79	61.77
Promedio		0.81	63.68
Desv. Estándar		0.03	3.77
63	-18	1.10	73.58
63	-18	1.13	53.75
63	-18	1.15	51.21
Promedio		1.13	59.51
Desv. Estándar		0.03	12.25
63	-12	0.88	60.80
63	-12	0.80	68.38
63	-12	0.70	66.39
Promedio		0.79	65.19
Desv. Estándar		0.09	3.93
63	-6	0.61	58.56
63	-6	0.59	71.76
63	-6	0.58	66.27
Promedio		0.59	65.53
Desv. Estándar		0.02	6.63

Anexo 13. Firmeza instrumental e índice de pardeamiento de palta variedad Fuerte en cubos congelada (continuación)

Tiempo (días)	Temperatura (°C)	Firmeza (N)	Índice de pardeamiento
70	-18	0.96	54.64
70	-18	0.83	63.80
70	-18	0.93	66.86
Promedio		0.91	61.76
Desv. Estándar		0.07	6.36
70	-12	0.58	77.42
70	-12	0.58	81.15
70	-12	0.48	73.49
Promedio		0.54	77.35
Desv. Estándar		0.06	3.83
70	-6	0.25	80.70
70	-6	0.28	79.40
70	-6	0.27	77.95
Promedio		0.26	79.35
Desv. Estándar		0.02	1.38

Anexo 14. Cálculo de los Parámetros de forma (β) y de escala (α)

Los parámetros de forma (β) y de escala (α) fueron estimados a partir del modelo de Weibull provenientes de los estimadores mu (μ) y sigma (σ); la forma (β) fue determinado como $1/\sigma$ y la escala (α) a partir de $\exp(\mu)$.

Cuadro 14. Parámetros de mu (μ) y sigma (σ) del modelo Weibull

Valor	μ	σ
Estimado	4.17	0.52
Inferior	3.95	0.30
Superior	4.40	0.89

Cuadro 15. Parámetros de forma (β) y de escala (α)

α	β
64.86	1.94
51.90	3.33
81.06	1.13

Se aplicó la distribución de Weibull para modelar los datos de supervivencia; como resultado se obtuvieron los parámetros mu (μ) y sigma (σ) de la distribución Weibull, para cada temperatura programada, con los cuales se construyó una gráfica según la función de rechazo $F(t)$ que permitió estimar el porcentaje (percentil) de rechazo o tiempo de fallo.

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

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right] \dots \dots \dots \text{Ecuación (2)}$$

Dónde: $F(t)$ es la función de fallo o rechazo; t es el tiempo (días).

El valor del parámetro de forma β para cada temperatura es mayor que 1, lo cual indica que la velocidad de fallas es creciente (Gacula y Kubala, 1975).

Si $\beta < 1$ la función de riesgo es decreciente, es decir, la tasa de fallo disminuye al aumentar el tiempo.

Si $\beta = 1$ la función de riesgo es constante, por lo que no depende del tiempo. En este caso, la distribución Weibull coincide con la Exponencial.

Si $\beta > 1$ la función de riesgo es creciente. En particular, si $1 < \beta < 2$, la función de riesgo crece rápido en el origen y muy poco a medida que t crece; para $\beta = 2$ el riesgo crece linealmente con el tiempo y para $\beta > 2$ crece un poco con t próximo a cero y después rápido. Es oportuno considerar la posibilidad $\beta = 3.44$, ya que, en este caso, la distribución Weibull se parece a la Normal.

Anexo 15. Determinación según tipo de censura de los consumidores

Normalmente, los datos asociados a tiempos de vida presentan observaciones incompletas. La estimación de las características de la fiabilidad cambia respecto a la estimación clásica de muestras completas. Un fenómeno que produce datos incompletos es la censura (Martínez, 2011).

Formalmente, se dice que una observación es censurada por la derecha de un valor t si el valor exacto de tal observación no es conocida pero sí se sabe que excede del tiempo t . Análogamente, una observación es censurada por la izquierda de t cuando solo se sabe que el valor de la observación es menor que t . También puede aparecer la censura por intervalo, donde los datos censurados presentan censura por la derecha y por la izquierda. Es más común que aparezca la censura por la derecha que por la izquierda con datos asociados a tiempos de vida (Martínez, 2011).

Anexo 16. Pasos para determinación por vida útil en weibull en el programa estadístico R

1. Tener datos en Excel

	T0	T7	T14	T21	T28	T35	T42	T49	T56	T63	T70
1	si	si	si	si	si	no	no	no	no	si	no
2	si	si	no	si	si	si	si	no	si	no	no
3	si	si	si	si	si	si	no	no	no	si	no
4	si	si	si	si	si	no	no	no	no	si	no
5	si	si	si	si	no	no	no	si	no	no	si
6	si	no	no	si	si	no	si	si	no	no	no
7	si	si	si	si	no	no	si	no	si	no	no
8	si	si	si	si	no	si	no	si	no	no	no
9	si	si	si	si	si	no	si	no	si	no	no
10	si	si	si	si	si	no	si	no	si	no	si
11	si	si	si	si	si	si	no	si	si	si	no
12	si	no	si	si	si	si	no	si	si	si	no
13	si	si	si	si	no	no	no	no	no	si	si
14	si	si	no	si	si	si	no	si	si	no	no
15	si	si	si	si	si	si	si	si	no	si	si
16	si	si	si	si	si	no	no	si	si	si	no
17	si	si	si	si	no	si	no	si	no	si	no
18	si	no	si	no	no	no	si	si	si	no	no
19	si	si	si	no	si	no	si	no	si	si	si
20	si	no	no	si	si	no	si	no	no	si	si
21	si	no	si	si	si	si	no	no	no	no	no
22	si	si	si	si	si	no	no	si	si	no	si
23	si	si	si	si	si	no	si	no	si	si	si
24	si	si	si	si	no						

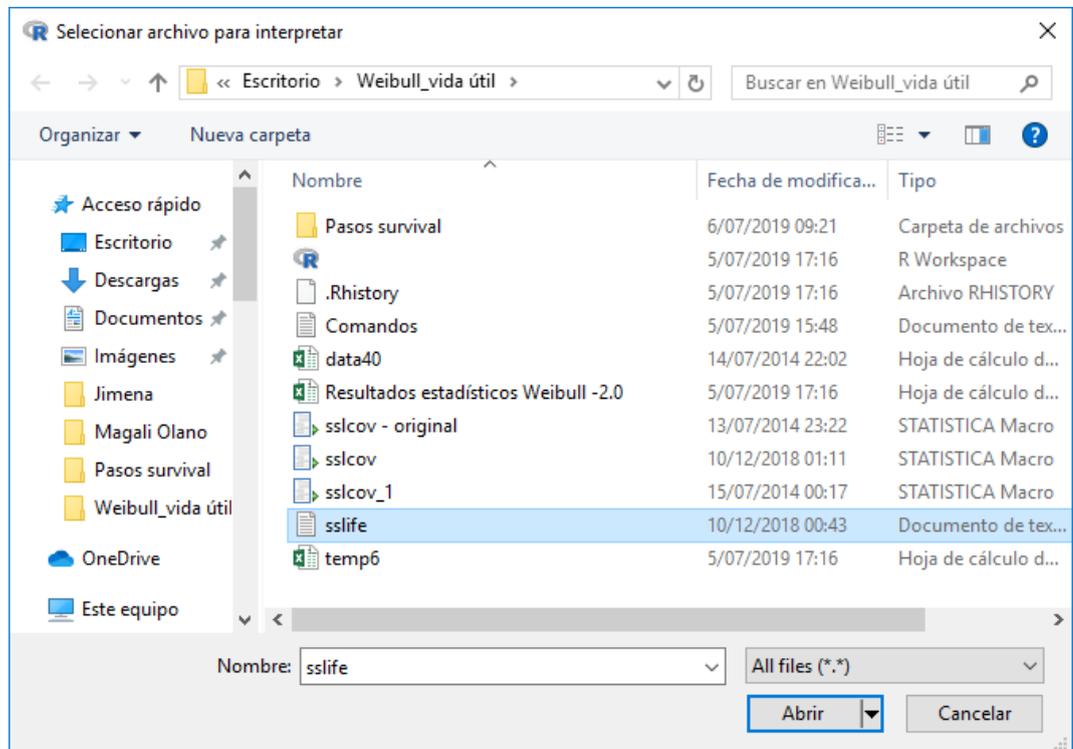
2. Importar datos a Excel

```

RGui (32-bit)
Archivo  Editar  Visualizar  Misc  Paquetes  Ventanas  Ayuda

R Console
> temp6<-read.table("clipboard",header=TRUE)
Warning message:
In read.table("clipboard", header = TRUE) :
incomplete final line found by readTableHeader on 'clipboard'
> temp6<-read.table("clipboard",header=TRUE)
> temp6
  C T0 T7 T14 T21 T28 T35 T42 T49 T56 T63 T70
1  1 si si si si si no no no no no si
2  2 si si no si si si si no si no no
3  3 si si si si si si no no no si no
4  4 si si si si no no no no no si no
5  5 si si si si no no no si no no si
6  6 si no no si si no si si no no no
7  7 si si si si no no si no si no no
8  8 si si si si no si no si no no no
9  9 si si si si si no si no si no si
10 10 si si si si si no si si si no si
11 11 si no si si si si si no si si no
12 12 si si si si no no no no no si si
13 13 si no si si si si no si si no no
14 14 si si si si si si si si no si si
15 15 si si si si si no no si si si no
16 16 si si si si no si no si no si no
17 17 si no si no no no si si si no no
18 18 si si si no si no si no si si si
  
```

3. Interpretar código fuente en R (sslife)



4. Comando Weibull

