



Universidad de Chile

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas

Departamento de Ciencia de los Alimentos y Tecnología Química

PATROCINANTE

Andrea Bunger Timmermann.

Profesor patrocinante

Ingeniera en Alimentos

Departamento de Ciencia de los

Alimentos y Tecnología Química

Universidad de Chile.

DIRECTORES DE MEMORIA

Andrea Bunger Timmermann.

Director de memoria

Ingeniera en Alimentos

Departamento de Ciencia de los

Alimentos y Tecnología Química

Universidad de Chile.

Gabriela Concha Moya.

Director de memoria

Ingeniera en Alimentos

Empresas Tucapel S.A

DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE ARROZ PREPARADO ESPÁRRAGO LIDER
ELABORADO POR EMPRESAS TUCAPEL S.A MEDIANTE PRUEBAS ACELERADAS

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS
TESIS RESTRINGIDA**

DANIELA ROCÍO ARAYA REBOLLEDO

Santiago, Chile

Mayo 2012

*A mis padres, Sergio y Ruth,
mis hermanos Jacqueline y Pablo,
y por supuesto a Dios*

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su comprensión e incondicional apoyo durante todo el período de aprendizaje y desarrollo de este trabajo.

A Andrea Bungler, directora del trabajo, por permitir el alcance de los objetivos planteados por medio de sus recomendaciones e invaluable consejos, por su disposición permanente en aclarar cada duda planteada y su asesoramiento científico.

A Gabriela Concha, directora del trabajo, por depositar su confianza en mis capacidades, y a todo el Departamento de Aseguramiento de calidad y desarrollo por los conocimientos compartidos y enseñados para llevar a cabo este estudio.

Al panel sensorial de Arroz Preparado Espárrago por su colaboración y dedicación durante todo el desarrollo de este trabajo, en especial a mis amigos Dafna Ehrenfeld, Natalia Salinas, M. José Gómez, Natalia Quezada, Sergio Escobar, Pía Ortuzar. A los que fui conociendo ya más al final del período universitario, Alejandra Ahumada, Marcela Aranda, Paula Cabezas y Natalia Díaz. Gracias por su motivación continua y palabras de aliento.

A Rodrigo Yurectic, por creer en mí, por incentivar y ayudarme cada vez que fue necesario, gracias por tus consejos, tu paciencia y tu apoyo permanente.

A la Universidad de Chile y a todos los profesores de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas que fueron parte fundamental de la formación entregada.

Y a todas las personas cercanas que durante este proceso me acompañaron y entregaron su valioso apoyo.

RESÚMEN

La vida útil del arroz preparado espárrago, elaborado por la empresa Tucapel S.A, se estimó mediante pruebas aceleradas, empleando la pérdida de calidad de ocho atributos sensoriales (color arroz, color espárrago, apariencia arroz, apariencia espárrago, sabor, olor, textura arroz y textura espárrago) como indicadores de deterioro.

El producto se almacenó en su envase original a 25°C, 35°C y 45°C durante 180 días para las temperaturas más bajas y 49 días para la más elevada. Adicionalmente se realizaron pruebas microbiológicas (*Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* en 25 g, *Escherichia coli*, Hongos y Levaduras) y fisicoquímicas (contenido de humedad, pH, índice de peróxido y actividad de agua).

Del estudio realizado, se determinó el atributo limitante, aquel que presentó deterioro más rápido en el tiempo y por tanto determinó la vida útil del producto, fue el atributo “apariencia espárrago”. La cinética de la reacción de deterioro para este atributo, fue de orden uno y las constantes cinéticas encontradas fueron 0,003, 0,0043, 0,0162 (días⁻¹) para las temperaturas 25°C, 35°C y 45°C, respectivamente. Con estas constantes específicas de reacción y el modelo de Arrhenius se obtuvo un valor de energía de activación de 15.880 cal/mol, el cual se encuentra dentro del rango de las reacciones para este tipo de productos.

Para estimar la vida útil del producto se utilizó el criterio punto de corte, estableciendo los límites de comercialización (puntaje 5,5) y comestibilidad (puntaje 4,0) en una escala de calidad de 9 puntos. Se estimó la vida útil del producto a una

temperatura de almacenamiento de 21°C, obteniendo 225 días y 400 días para el límite de comercialización y comestibilidad, respectivamente.

ABSTRACT

Shelf life estimation of prepared rice with asparagus manufactured by Tucapel S.A Company using accelerated shelf life testing.

The shelf life of prepared rice with asparagus, manufactured by Tucapel S.A Company was estimated by accelerated shelf life testing (ASLT), using the loss of quality of eight sensory attributes (rice colour, asparagus colour, rice appearance, asparagus appearance, odor, flavor, rice texture and asparagus texture) as deterioration indicators.

The product was stored in its original packing at 25°C, 35°C and 45°C, for a period of 180 days for the lower temperatures and 49 days for the highest. In addition, microbiological (*Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* 25 g, *Escherichia coli*, molds and yeast) and physicochemical test (moisture, pH, peroxide index and water activity) were performed during the study.

In terms of results, the asparagus appearance was determined as the limiting attribute, because it presented the faster deterioration in time and thus determined the product shelf life. The kinetic of deterioration reaction for this attribute was first order and the rate constants found were 0.003, 0.0043, 0.0162 (days⁻¹) for temperatures 25°C, 35°C and 45°C, respectively. With these constants and the Arrhenius model, the activation energy of 15,880 kcal/mol was determined, which is within the range of reactions for these products.

In order to estimate the shelf life of the product, the end-point criterion was used, establishing a marketing limit (score 5.5) and an edibility limit (score 4.0) in a quality

scale of 9 points. The shelf life was estimated at storage temperature of 21°C, obtaining 225 days and 400 days for marketing limit and edibility limit, respectively.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
INTRODUCCIÓN	1
1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
1.1 LOS ALIMENTOS Y SU VIDA ÚTIL	2
1.1.1 Principales formas de deterioro de los alimentos	2
1.2 ESTUDIO DE VIDA ÚTIL	8
1.2.1 Diseño del estudio.....	8
1.2.2 Selección del diseño experimental.....	8
1.3 ESTUDIO ACELERADO DE VIDA ÚTIL	9
1.4 CINÉTICA Y VIDA ÚTIL.....	10
1.4.1 Pérdida de vida útil a velocidad constante.....	11
1.4.2 Pérdida de vida útil a velocidad variable.....	12
1.4.3 Dependencia de la vida útil con la temperatura	13
1.4.4 Limitaciones de estudios acelerados de vida útil	16
1.5 CONSIDERACIONES DEL ALMACENAMIENTO DEL ARROZ	18
1.6 CAMBIOS DEL ARROZ DURANTE EL ALMACENAMIENTO.....	19
1.6.1 Cambios Sensoriales	19
1.6.2 Cambios químicos.....	19
1.7 CAMBIOS DEL ESPÁRRAGO DURANTE EL ALMACENAMIENTO	22
1.8 TÉRMINOS GENERALES ARROZ PREPARADO ESPÁRRAGO LIDER	24
1.8.1 Descripción del producto.....	24
1.8.2 Parámetros de calidad	24
1.8.3 Condiciones de almacenamiento y transporte	25
1.8.4 Especificaciones envase	25
2 OBJETIVOS.....	26
2.1 OBJETIVO GENERAL	26
2.1.1 Objetivos específicos	26
3 METODOLOGÍA	27
3.1 MATERIALES	27
3.2 EQUIPOS	27

3.3	MÉTODOS DE ANÁLISIS	27
3.4	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	29
3.4.1	Análisis Microbiológicos	29
3.4.2	Análisis Físicoquímicos	30
3.4.3	Análisis Sensorial	31
3.4.4	Variable de respuesta	38
3.4.5	Cinética de deterioro atributos sensoriales	38
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS	40
4.2	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS	44
4.2.1	Contenido de humedad a distintas temperaturas de almacenamiento.....	44
4.2.1	pH a distintas temperaturas de almacenamiento.....	45
4.2.2	Actividad de agua a distintas temperaturas de almacenamiento	46
4.2.3	Índice de Peróxido a distintas temperaturas de almacenamiento	47
4.3	ANÁLISIS SENSORIAL.....	49
4.3.1	Elección de jueces	49
4.3.2	Selección de jueces	49
4.3.3	Entrenamiento de jueces	50
4.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO RESULTADOS TEST DE VALORACIÓN DE CALIDAD CON ESCALA KARLSRUHE	53
4.4.1	Test de valoración de calidad con escala de Karlsruhe.....	53
4.5	CINÉTICA DE DETERIORO ATRIBUTOS SENSORIALES	55
4.5.1	Determinación orden cinético de reacción y vida útil.....	55
4.5.2	Cálculo parámetro Q ₁₀	61
4.6	VIDA ÚTIL ARROZ PREPARADO ESPÁRRAGO	61
5	CONCLUSIONES	63
6	RECOMENDACIONES	64
7	BIBLIOGRAFÍA	65
	ANEXOS	69
ANEXO 1	METODOLOGÍA ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS	69
•	<i>Salmonella</i> en 25g.....	69
•	<i>Escherichia coli</i>	70

•	Hongos y Levaduras	71
ANEXO 2	METODOLOGÍA ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	72
•	Determinación del contenido de humedad	72
•	Determinación de pH	73
•	Determinación de Índice de peróxido	73
•	Determinación actividad de agua.....	73
ANEXO 3	DILUCIONES USADAS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE UMBRAL DE GUSTO SALADO..	74
ANEXO 4	FICHA DE RESPUESTA UMBRAL DE IDENTIFICACIÓN	75
ANEXO 5	CONCENTRACIONES ORDENAMIENTO DE COLORES.....	76
ANEXO 6	FICHA DE RESPUESTA RANKING DE COLOR	77
ANEXO 7	FICHA DE RESPUESTA TEST TRIANGULAR.....	78
ANEXO 8	FICHA DE RESPUESTA TEST DESCRIPTIVO.....	79
ANEXO 9	FICHA DE RESPUESTA TEST KARLSRUHE	80
ANEXO 10	RESULTADOS PRUEBAS TEST SELECCIÓN DE JUECES	81
•	IDENTIFICACIÓN DE UMBRALES PARA GUSTO SALADO.....	81
ANEXO 11	RESULTADO ESTADÍSTICO TEST VALORACIÓN DE CALIDAD ESCALA KARLSRUHE	84
ANEXO 12	COEFICIENTES DE DETERMINACIÓN R^2 DE ATRIBUTOS SENSORIALES.....	89
ANEXO 13	CONSTANTES DE VELOCIDAD DE REACCIÓN	90
ANEXO 14	PARÁMETROS CINÉTICOS ATRIBUTOS SENSORIALES	91
ANEXO 15	CONSTANTES DE VELOCIDAD DE REACCIÓN RECALCULADOS K.....	92
ANEXO 16	VIDA ÚTIL EXPERIMENTAL ATRIBUTOS SENSORIALES.....	93
ANEXO 17	ECUACIONES VIDA ÚTIL EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA DE ATRIBUTOS SENSORIALES.....	94
ANEXO 18	FACTOR Q_{10} ATRIBUTOS SENSORIALES	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas cinéticas de deterioro .	13
Figura 2. Gráfico modelo Arrhenius	14
Figura 3. Gráficos de vida útil	15
Figura 4. Variación en el tiempo del contenido de humedad según temperatura de almacenamiento.	44
Figura 5. Variación en el tiempo de pH según temperatura de almacenamiento.	45
Figura 6. Curva de velocidad orden cinético uno “apariencia espárrago” a 25°C.	56
Figura 7. Variación de la constante de velocidad de reacción K con la temperatura atributo apariencia espárrago.	57
Figura 8. Gráfico vida útil en función de las temperaturas.	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales enzimas responsables de la alteración de los alimentos. ...	5
Tabla 2. Principales microorganismos alterantes de los alimentos.	7
Tabla 3. Parámetros cinéticos y vida útil de algunos alimentos.	16
Tabla 4. Temperaturas recomendadas para pruebas aceleradas de estabilidad.	17
Tabla 5. Temperatura de almacenamiento y humedad del arroz.	18
Tabla 6. Parámetros Sensoriales.....	24
Tabla 7. Parámetros Fisicoquímicos.....	24
Tabla 8. Parámetros Microbiológicos.....	24
Tabla 9. Comidas y platos pre-elaborados que necesariamente requieren cocción.....	25
Tabla 10. Harinas y almidones.	25
Tabla 11. Secuencia de muestreo para análisis de arroz preparado espárrago Lider.	28
Tabla 12. Aplicación de los 10 test triangulares.....	34
Tabla 13. Grados de calidad, calificación verbal y numérica.....	35
Tabla 14. Muestras de arroz preparado espárrago primera sesión Test descriptivo.	36
Tabla 15. Resultados Microbiológicos muestras almacenadas a 25°C.....	41
Tabla 16. Resultados Microbiológicos muestras almacenadas a 35°C.....	42
Tabla 17. Resultados Microbiológicos muestras almacenadas a 45°C.....	43
Tabla 18. Variación en el tiempo de actividad de agua según temperatura de almacenamiento.....	46
Tabla 19. Variación en el tiempo Índice de peróxidos según temperatura de almacenamiento.....	47
Tabla 20. Resumen etapa selección de jueces.....	49
Tabla 21. Descripción de atributos arroz preparado espárrago Lider.....	50
Tabla 22. Tabla general del test de valoración de calidad con escala de Karlsruhe Arroz preparado espárrago Lider.....	52
Tabla 23. Puntaje promedio por atributo para las muestras almacenadas a 25°C.....	53
Tabla 24. Puntaje promedio por atributo para las muestras almacenadas a 35°C.....	54
Tabla 25. Puntaje promedio por atributo para las muestras almacenadas a 45°C.....	54
Tabla 26. Coeficientes de determinación atributo apariencia espárrago.....	55
Tabla 27. Constantes de velocidad de reacción del atributo apariencia espárrago a cada temperatura.	56

Tabla 28. Vida útil experimental atributo apariencia espárrago a cada temperatura de almacenamiento.	59
Tabla 29. Valores de vida útil para 21°C.	60
Tabla 30. Vida útil por parámetro sensorial a 21°C con distintos puntos de corte.	60
Tabla 31. Diluciones y claves usadas para la identificación de umbral de gusto salado.	74
Tabla 32. Ordenamiento de colores, rojo, verde y amarillo.	76
Tabla 33. Resultados Identificación de umbrales gusto salado.	81
Tabla 34. Resultados Test de ordenamiento de colores.	82
Tabla 35. Resultados Test triangular.	83
Tabla 36. Coeficientes de determinación de atributos sensoriales a cada temperatura.	89
Tabla 37. Constantes de velocidad de reacción experimentales (K) de atributos sensoriales a cada temperatura.	90
Tabla 38. Energías de activación (E_A) y factores pre-exponenciales (k_0).	91
Tabla 39. Constantes de velocidad de reacción recalculados (K) de atributos sensoriales.	92
Tabla 40. Vida útil experimental atributos sensoriales según punto de corte.	93
Tabla 41. Ecuaciones vida útil para cada atributo sensorial.	94
Tabla 42. Factor Q_{10} experimental de atributos sensoriales.	95
Tabla 43. Factor Q_{10} de atributos sensoriales para 21°C.	95

INTRODUCCIÓN

La vida útil de un alimento se puede definir como el tiempo, después de la producción o empaque, durante el cual el producto mantiene sus características sensoriales, fisicoquímicas, microbiológicas y nutricionales, bajo determinadas condiciones de almacenamiento (Kuntz, 1991). Este tiempo depende de factores ambientales a los que el producto esté expuesto y a cuánto de la calidad inicial mantendrá antes de que deje de ser comercializado (Labuza & Schmidl, 1985).

Las pruebas de vida útil a tiempo real ofrecen excelentes datos, pero presentan, en algunos casos, el inconveniente del tiempo prolongado para la obtención del resultado. Entre las consecuencias están que el dato obtenido es puntual y se obtiene en un lapso que puede no ser práctico para la empresa (García & Molina, 2008). Por ello, cuando el tiempo de vida útil de un alimento es prolongado o no se cuenta con el tiempo suficiente para la experimentación que requiere, el estudio de durabilidad se puede llevar de manera acelerada.

El propósito de este estudio es estimar la vida útil del producto Arroz Preparado espárrago marca Lider, elaborado por la empresa Tucapel S.A, mediante pruebas aceleradas.

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Los alimentos y su vida útil

Los alimentos son perecederos por naturaleza. Numerosos cambios toman lugar durante su procesamiento y almacenamiento. Las condiciones utilizadas al momento de procesarlos y almacenarlos pueden influenciar adversamente los atributos de calidad (Soto, 2000). La calidad es una cualidad de los alimentos que puede ser definida como la combinación de propiedades que influyen el grado de aceptabilidad de los alimentos por parte del consumidor (Kramer & Twigg, 1968).

Un alimento es un sistema fisicoquímico y biológicamente activo, por lo que la calidad del mismo es un estado dinámico, que continuamente está cambiando para reducir sus niveles. (Rotstein, Valentas, & Singh, 1997).

1.1.1 Principales formas de deterioro de los alimentos

Durante el almacenamiento y distribución los alimentos son expuestos a una serie de factores que pueden afectar su vida útil, estos factores pueden ser clasificados en intrínsecos y extrínsecos.

Los factores intrínsecos son las propiedades del producto final, tales como la actividad de agua, pH, acidez total, potencial redox, nutrientes, entre otros.

Los factores extrínsecos son aquellos factores con los que el producto final se encuentra a lo largo de la cadena alimentaria, como, temperatura, humedad, oxígeno, sistemas de procesamiento, tipo de empaque y luz (Kilcast & Subramanian, 2000).

Es necesario entender cómo la interacción de estos factores causa el deterioro de los alimentos, limitando su vida útil. El deterioro puede ser convenientemente clasificado en cambios ocasionados por deterioro físico, químico y microbiológico.

1.1.1.1 Deterioro Físico

Los daños físicos pueden contribuir a la pérdida de vida útil de un alimento, entre ellos se encuentran aquellos causados por el mal manejo durante la cosecha, proceso, almacenamiento y distribución (Labuza, 1982).

1.1.1.2 Deterioro químico

Durante el procesamiento de alimentos, ocurre deterioro del tejido por causas relacionadas con varios constituyentes químicos del alimento dentro del ambiente de los fluidos celulares. Estos componentes pueden reaccionar con factores externos para inducir el deterioro del alimento y disminuir la vida útil del alimento (Labuza, 1982).

Se distinguen diferentes mecanismos: (1) Oxidación de lípidos; (2) Degradación enzimática; (3) Pardeamiento no enzimático; (4) Otras reacciones:

(1) Oxidación de lípidos

Muchos alimentos contienen grasas insaturadas, las cuales están sujetas al ataque directo de oxígeno, a través de un mecanismo autocatalítico de radicales libres. Esto genera sabores rancios en el alimento, que son inmediatamente rechazados por el consumidor. Los radicales libres y peróxidos producidos en este proceso pueden reaccionar y decolorar pigmentos, tal como ocurre en vegetales deshidratados, pudiendo destruir las vitaminas C, E y A (Labuza, 1982).

La velocidad de la oxidación de lípidos depende de la temperatura, de la disponibilidad de agua y de la actividad de agua. Los más susceptibles de sufrir rancidez son los alimentos secos y semi-húmedos (Labuza, 1982).

La rancidez hidrolítica, se ocasiona por la hidrólisis de las grasas con liberación de ácidos grasos libres. En muchas grasas, la presencia de estos ácidos no produce defectos objetables, sin embargo, en algunos alimentos, ocasiona un olor y sabor tan desagradable, que puede malograr el producto totalmente. Altos contenidos de humedad y temperatura ayudan a acelerar esta reacción (Owen, 2000).

(2) Degradación enzimática

La degradación enzimática comienza en el período de post-cosecha, provocando la pérdida de calidad del alimento. La destrucción de tejido celular del alimento libera enzimas que conducen a un mayor deterioro (Labuza, 1982).

La Tabla 1 detalla las principales enzimas responsables de la alteración de los alimentos, así como las reacciones que catalizan y sus efectos sobre la calidad.

Tabla 1. Principales enzimas responsables de la alteración de los alimentos.

Parámetro	Enzima	Reacción que cataliza	Defectos de calidad
Flavor	Lipasas, estereasas	Hidrólisis de lípidos	Rancidez lipolítica (sabor jabonoso)
	Lipoxigenasa	Oxidación de ácidos grasos poliinsaturados	Rancidez oxidativa (sabor a vegetal)
	Peroxidasa/ catalasa	Oxidación de aminas aromáticas, fenoles	Mal sabor y oscurecimiento
	Proteasa	Hidrólisis de proteínas	Amargor
Color	Polifenoloxidasa	Oxidación de fenoles	Color oscuro
	Clorofilasa	Pérdida de Mg en clorofila	Color oscuro en vegetales
Textura, consistencia	Amilasa	Hidrólisis del almidón	Ablandamiento/ pérdida de viscosidad
	Pectín metilesterasa	Hidrólisis de pectina a ácido péctico y metanol	Ablandamiento/ pérdida de viscosidad
	Poligalacturonasa	Hidrólisis del - 1,4 enlaces glicosídicos del ácido péctico	Ablandamiento/ pérdida de viscosidad
Valor nutritivo	Acido ascórbico oxidasa	Oxidación del ácido L-ascórbico	Pérdida de vitamina C
	Tiaminasa	Hidrólisis de la tiamina	Pérdida de vitamina

Fuente: (Fernández, Garcia, & Matínez, 2009).

(3) Pardeamiento no enzimático

Este mecanismo es el resultado de la reacción entre componentes reducidos (como glucosa, fructosa y lactosa) y proteínas o aminoácidos. En algunos casos este tipo de reacción es deseado y provocado intencionalmente. Sin embargo, cuando se produce en forma involuntaria se generan algunos aspectos indeseables, como sabores desagradables y cambios en el color (Labuza, 1982).

Los factores ambientales que controlan este tipo de reacción son la temperatura, pH, y actividad de agua. La velocidad de este tipo de reacción es más sensible a la temperatura que al deterioro causado por rancidez. En productos secos la velocidad de reacción se cuadruplica con un aumento de 10° C en la temperatura de almacenamiento. En alimentos en que ambas reacciones pueden ocurrir, el pardeamiento no enzimático predomina a altas temperaturas, mientras que la rancidez

lo hará a bajas temperaturas. Por tanto, durante el procesamiento, el alimento se debe exponer lo menos posible a altas temperaturas para minimizar este tipo de deterioro, que puede acortar su vida útil. El mayor control del pardeamiento no enzimático es por medio del contenido de agua del alimento, a menor contenido de agua, más lenta será la velocidad de reacción (Labuza, 1982).

(4) Otras reacciones

Otras reacciones químicas que ocasionan el deterioro de los alimentos, incluye la destrucción térmica de algunas vitaminas, como la vitamina A, B y C y el efecto de la luz sobre pigmentos, tal como ocurre en la decoloración de la clorofila, la oxidación directa de la vitamina C y de pigmentos carotenoides. Lo importante de estas reacciones es definir el punto en que se dará fin a la vida útil. En muchos casos la información debe ser confirmada con pruebas sensoriales para que el punto de deterioro sea escogido (Labuza, 1982).

1.1.1.3 Deterioro microbiológico

Los microorganismos son la causa más frecuente de alteración de los alimentos y el principal motivo de toxiinfecciones. Dentro de este amplio grupo se incluyen mohos, levaduras y células bacterianas.

Los mohos son hongos microscópicos aerobios que generalmente dañan el alimento y pueden producir toxinas que causan enfermedades. A diferencia de las bacterias, los mohos pueden crecer en alimentos que tienen alta acidez y baja humedad. Por lo general, se desarrollan bajo temperaturas templadas, también pueden crecer a temperaturas de refrigeración (5°C o menos). Algunos mohos causan

reacciones alérgicas y problemas respiratorios, unos pocos pueden producir micotoxinas que se encuentran principalmente en granos y nueces

Las levaduras son otro tipo de hongo unicelular anaerobio facultativo que ocasionan daño en los alimentos, pero que no causan enfermedades. Se encuentran comúnmente en granos, frutas y otros alimentos que contienen azúcar (Fraser, 2010). El intervalo de temperatura de crecimiento de las levaduras es, en general, semejante al de los mohos, con un óptimo alrededor de 25 a 35°C y un máximo de 35 a 47°C. El crecimiento de las levaduras se ve favorecido por un pH ácido próximo a 4 – 4,5.

En la mayoría de las bacterias el crecimiento óptimo es entre un rango de pH de 6,5 – 7,5, muy pocas crecen a un valor menor a 4,0. Los alimentos que tienen a_w superior a 0,85 favorecen su desarrollo. Algunas son consideradas anaerobias facultativas y pueden crecer en un amplio rango de temperaturas. Las termófilas crecen entre los 55-65°C, las mesófilas entre los 30- 37°C y las psicrófilas crecen por debajo de los 5°C (Condón, 2009).

Tabla 2. Principales microorganismos alterantes de los alimentos.

Microorganismo	Especie	Características	pH	a_w
Bacterias	<i>B. cereus</i> <i>S. aureus</i> <i>Salmonella</i> <i>E. coli</i>	Aerobio facultativo y formador de esporas Aerobio/ Anaerobio facultativo Aerobio/ Anaerobio facultativo Aerobio/ Anaerobio facultativo	4,0 – 9	0,85 – 1
Levaduras	<i>Saccharomyces</i> <i>Candida</i>	Anaerobias facultativas	1,5 – 8	0,6 – 1
Mohos	<i>Penicillium</i> <i>Aspergillus</i>	Aerobios	1,5 – 11	0,6 – 1

Fuente: (Condón, 2009).

1.2 Estudio de vida útil

Un estudio de vida útil consiste en realizar una serie de controles preestablecidos en el tiempo, hasta alcanzar el deterioro elegido como limitante (Curia y cols., 2005). Se debe definir cuál será la variable de mayor impacto en el deterioro del producto para analizarla respecto al tiempo, con la finalidad de utilizarla como variable de respuesta. Cuando no se conoce esta variable, por lo general, se realizan pruebas sensoriales, microbiológicas y fisicoquímicas en forma simultánea.

Los puntos clave al diseñar un ensayo de vida útil son: el tiempo durante el cual se va a realizar el estudio siguiendo una determinada frecuencia de muestreo, y los controles que se van a llevar a cabo sobre el producto hasta que presente un deterioro importante (Curia y cols., 2005).

1.2.1 Diseño del estudio

Un estudio de vida útil se realiza hasta lograr un deterioro apreciable en las muestras. Es importante definir cuál es el tiempo máximo de almacenamiento con el que se va trabajar. En las empresas se conoce un tiempo estimado de deterioro de las muestras, en condiciones normales de almacenamiento. Cuando se plantean estudios acelerados de vida útil esta información no siempre se conoce previamente. La determinación del número de muestras es un punto crítico en el caso de pruebas sensoriales, ya que en ellas se usa una cantidad importante (Curia y cols., 2005).

1.2.2 Selección del diseño experimental

Existen dos tipos de diseño aplicables a los estudios de vida útil:

Diseño básico: consiste en almacenar un único lote de muestras en las condiciones seleccionadas e ir haciendo un muestreo en los tiempos prefijados (Curia y cols., 2005).

Diseño escalonado: consiste en almacenar diferentes lotes de producción en las condiciones seleccionadas a diferentes tiempos, de forma de obtener en un mismo día todas las muestras con los diferentes grados de deterioro y en ese día analizarlas. (Curia y cols., 2005).

Para estimar la vida útil se pueden aplicar métodos cinéticos y métodos probabilísticos. Los métodos cinéticos se basan en ecuaciones matemáticas para modelar la pérdida de calidad durante el tiempo de almacenamiento y los métodos probabilísticos consisten en considerar la vida útil como una magnitud aleatoria y describir su comportamiento mediante un modelo probabilístico (Cantillo & Fernández, 1994).

1.3 Estudio acelerado de vida útil

Un estudio acelerado consiste en someter al producto bajo condiciones extremas de almacenamiento, como temperatura, presiones parciales de oxígeno o altos contenidos de humedad, que aceleran las velocidades de deterioro del alimento, resultando de esto un período de estudio menor al realizado bajo condiciones reales de almacenamiento (ASTM, 2011).

Esta metodología es de gran utilidad cuando se estudian productos no perecederos, ya que ayudan a reducir el tiempo dedicado a los ensayos de estimación (Giraldo, 1999), sin embargo, estos estudios se hacen menos factibles para productos no perecederos con una vida útil mayor a tres años (Labuza & Szybits, 2004).

1.4 Cinética y vida útil

Aplicando los principios cinéticos de química fundamental, la velocidad de cambio de la calidad de un alimento generalmente puede ser expresada como una función de la composición y de factores ambientales, representada en la ecuación (1):

$$\frac{dQ}{dt} = F(C_i, E_j) \quad (1)$$

Donde C_i son los factores de la composición, tales como, concentración de componentes de reactivos, catalizadores orgánicos, enzimas, inhibidores de la reacción, pH, actividad del agua o poblaciones microbianas; y E_j son los factores ambientales, como temperatura, humedad relativa, presión total y presión parcial de diferentes gases, luz y mecanismos de estrés (Saguy & Karel, 1980). Excluyendo el efecto de los factores ambientales E_j , asumiendo que estos permanecen constantes, la ecuación (1) se simplifica y expresa el cambio de la concentración de los constituyentes relacionados con la calidad del alimento, como función del tiempo (Rotstein et al., 1997).

La pérdida de calidad de la mayor parte de los alimentos puede ser representada por la ecuación básica (2):

$$\frac{dA}{dt} = -k(A)^n \quad (2)$$

Donde A es el factor de calidad medido, t es el tiempo, k es una constante de velocidad y n es un factor denominado orden de reacción, que define la velocidad de pérdida del factor calidad (Labuza & Schmidl, 1985).

Generalmente, los resultados de vida útil estudiados no son obtenidos como una velocidad, más bien como la cantidad de A perdido o producido como función del tiempo (Labuza, 1982).

La pérdida de calidad de muchos alimentos se ajusta a distintos órdenes de reacción, sin embargo en su mayoría lo hacen al orden de reacción cero y uno. (Gordon, 1993).

1.4.1 Pérdida de vida útil a velocidad constante

Basado en la ecuación (2) mucha de la literatura asume un valor de cero para n . Esta suposición se denomina orden cero. Esto implica que la velocidad de pérdida del factor de calidad en el tiempo es constante, como lo define la ecuación (3).

$$\frac{dA}{dt} = -k \quad (3)$$

Matemáticamente si la ecuación (3) fuera integrada, la cantidad de factor calidad perdida en el tiempo como función de la temperatura llegaría a transformarse en la ecuación (4).

$$A = A_0 - kt \quad (4)$$

Donde A es la cantidad de calidad remanente al tiempo t , A_0 es la cantidad inicial del factor calidad y k es la constante de velocidad (Labuza, 1982).

Algunas formas de deterioro se ajustan al orden cinético de cero, tales como:

- Degradación enzimática de frutas y vegetales, de alimentos congelados o refrigerados.

- Pardeamiento no enzimático en cereales y productos lácteos deshidratados.
- Oxidación de lípidos en alimentos congelados y deshidratados

Si se representa el grado de calidad en función del tiempo y se obtiene una línea recta, el orden de reacción es cero. Una gráfica de este tipo, donde la pendiente es k , se muestra en la Figura 1 (Curia y cols., 2005).

1.4.2 Pérdida de vida útil a velocidad variable

La calidad en muchos casos no sigue un modelo como el deterioro descrito anteriormente. De hecho, muchos alimentos no se deterioran a una velocidad constante y siguen un modelo donde n toma el valor uno, con resultado de un decaimiento exponencial en la velocidad de la pérdida del factor de calidad.

Matemáticamente la velocidad se define como la ecuación (5).

$$\frac{dA}{dt} = -kA \quad (5)$$

Integrando la ecuación (5) se obtiene una ecuación logarítmica (6).

$$\ln A = \ln A_0 - kt \quad (6)$$

Donde A es la cantidad de calidad remanente al tiempo t , A_0 es la cantidad inicial del factor calidad y k es la constante de velocidad (Labuza, 1982).

Algunas formas de deterioro se ajustan al orden cinético de uno, tales como:

- Rancidez en aceites o en alimentos deshidratados.
- Crecimientos de microorganismos y sus defectos.
- Pérdida de vitaminas en alimentos enlatados y deshidratados.

- Pérdida en calidad de proteínas en alimentos deshidratados.

Una representación gráfica de esta cantidad de calidad remanente como función del tiempo no sigue un comportamiento lineal, esta se muestra en la Figura 1 (Curia y cols., 2005).

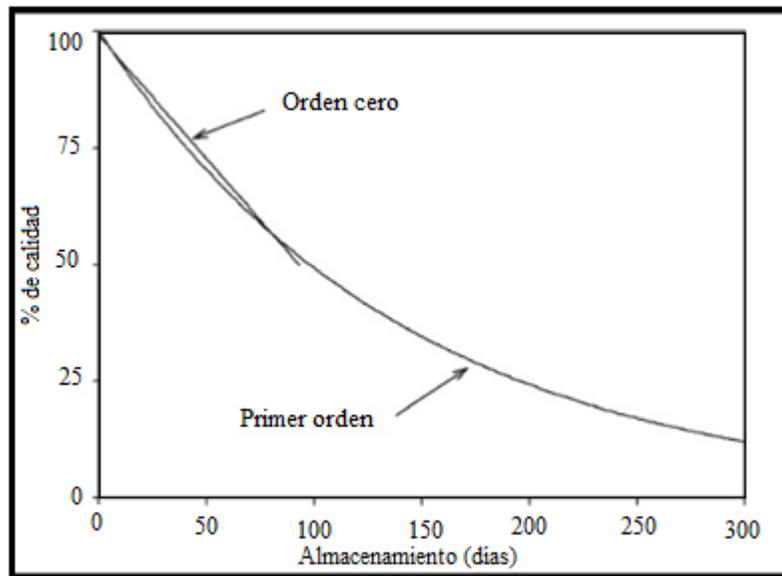


Figura 1. Curvas cinéticas de deterioro (Curia y cols., 2005).

1.4.3 Dependencia de la vida útil con la temperatura

1.4.3.1 Modelo de Arrhenius

Los análisis matemáticos de la pérdida de calidad de los alimentos asumen una temperatura constante. La dependencia de la velocidad de pérdida de calidad con la temperatura es a una velocidad constante k . Teóricamente, k obedece la relación de Arrhenius descrita según la ecuación (7).

$$k = k_0 e^{-\frac{E_A}{RT}} \quad (7)$$

Donde k es la constante de velocidad de la reacción, k_0 es la constante pre-exponencial, E_A es la energía de activación para la reacción de deterioro y R es la constante de gases ideales (Labuza, 1982).

Al aplicar logaritmos a ambos lados de la ecuación (7), se obtiene la ecuación de una línea recta con pendiente E_A/R , tal como se expresa en la ecuación (8); el término E_A puede evaluarse para conocer el valor de la energía de Activación.

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_A}{R} \frac{1}{T} \quad (8)$$

Un trazo del logaritmo natural de la constante de velocidad versus el inverso absoluto de la temperatura da una línea recta, como se muestra en la Figura Figura 2 (Labuza, 1982).

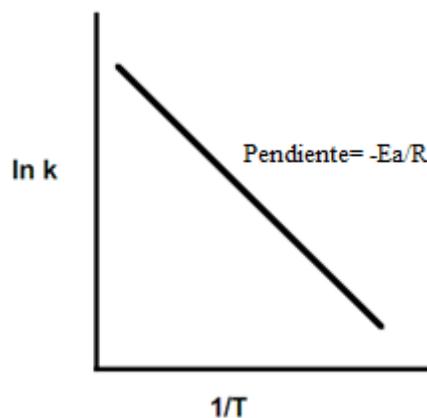


Figura 2. Gráfico modelo Arrhenius (Labuza & Fu, 1997).

Una alternativa al modelo de Arrhenius es el parámetro Q_{10} , que es una medida de la sensibilidad de la reacción a un cambio de temperatura de 10°C . Obteniendo el cociente de la vida útil a dos temperaturas distanciadas en diez grados, puede encontrarse el Q_{10} de la reacción, como se muestra en la ecuación (9) (Labuza, 1982).

$$Q_{10} = \frac{\text{Vida Útil a Temperatura } (T)}{\text{Vida Útil a Temperatura } (T + 10)} \quad (9)$$

Una forma de cuantificar el efecto de la temperatura sobre la calidad de un alimento es a través de los gráficos de vida útil, estos consisten en graficar el logaritmo natural del tiempo de vida útil contra la temperatura o su inverso. De estos gráficos se pueden obtener parámetros, como la energía de activación E_A y el factor Q_{10} (Labuza & Schmidl, 1985).

La forma de los gráficos de vida útil y la relación que existe entre sus pendientes y los parámetros arriba mencionados se muestran en la Figura 3.

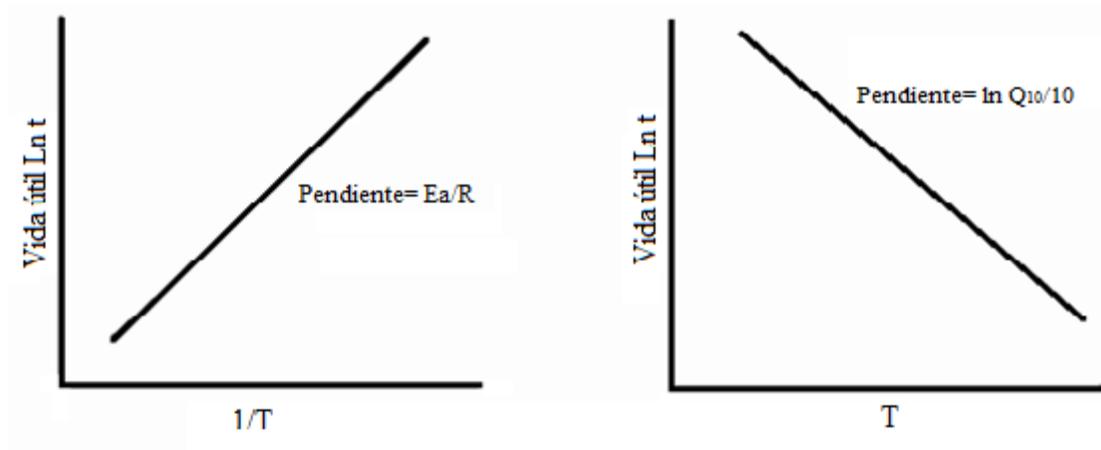


Figura 3. Gráficos de vida útil (Gordon, 1993).

En la Tabla 3 se presentan valores experimentales de Q_{10} y de vida útil de algunos alimentos (Fernández, Garcia, & Matínez, 2009).

Tabla 3. Parámetros cinéticos y vida útil de algunos alimentos.

Alimento	K (días ⁻¹)	Ea (cal/mol)	Q ₁₀	Tiempo (días)	Indicador Condiciones
Arroz (granos)	-	9.300 – 39.500	1,8 - 11,1	7 – 210	Crec. visible de mohos, 24- 17 % humedad relativa, 10°C
Espinaca deshidratada	0,0009	2.800	2,8	20	Pérdida de clorofila a _w =0,62, 37°C
Cebolla deshidratada	0,0012	3.000	3,0	360	50% pérdida vit. C 25°C

Fuente: (Fernández, Garcia, & Matínez, 2009)

Las reacciones de alteración de los alimentos presentan valores $Q_{10} = 2 - 3$, lo que implica que la vida útil de un producto se prolongará entre dos y tres veces al reducir la temperatura de almacenamiento en 10°C (Condón, 2009).

1.4.4 Limitaciones de estudios acelerados de vida útil

Existen una serie de problemas prácticos y errores teóricos en los estudios de vida útil acelerados:

- Puede haber un error en la evaluación analítica o sensorial. Generalmente, cualquier medición debe tener una variabilidad de menos del 10% para minimizar los errores en la predicción.
- Los cambios de temperatura pueden generar cambios de fase, los cuales pueden acelerar ciertas reacciones, haciendo que la vida útil predicha a temperaturas menores sea más corta que la real.
- Si se utilizan altas temperaturas, una desnaturalización de las proteínas puede darse en el alimento. Esto puede resultar en un incremento o decremento en la velocidad de ciertas cadenas laterales de aminoácidos, provocando errores en la predicción de la vida útil a temperaturas moderadas.

- La actividad de agua, a_w , en alimentos secos puede incrementar con la temperatura. Esto puede causar un aumento en la velocidad de reacción para productos de baja a_w en empaques sellados y resultar en una sobre estimación de la verdadera vida útil a bajas temperaturas (Labuza & Schmidl, 1985).

Un cuadro con las temperaturas de almacenamiento recomendadas para estudios acelerados se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Temperaturas recomendadas para pruebas aceleradas de estabilidad.

Tipo de Producto	Temperatura de ensayo (°C)
Cereales	25, 30, 40, 50
Conservas	20, 30, 35, 40
Enlatados	25, 30, 40, 50
Vegetales deshidratados	25, 30, 35, 40, 50
Refrigerados	5,10,15
Congelados	-18, -15, -10, -5

Fuente: (Fernández, Garcia, & Matínez, 2009).

Se debe tener presente que el objetivo de un estudio acelerado de vida útil consiste en acelerar el mecanismo de deterioro y no transformarlo.

1.5 Consideraciones del almacenamiento del arroz

En la literatura se mencionan algunas prácticas de almacenamiento que deben ser consideradas para evitar la pérdida de calidad del arroz. Mencionando factores tales como humedad relativa, temperatura y sistemas de aireación de los granos.

El crecimiento de hongos es mínimo bajo un 65% de humedad relativa, el desarrollo de bacterias en cambio es mínimo incluso a humedades relativas mayores. La Tabla 5 muestra temperaturas de almacenamiento y humedades del grano de arroz recomendadas.

Tabla 5. Temperatura de almacenamiento y humedad del arroz.

Temperatura almacenamiento (°C)	Humedad arroz (%)
4	14
16	13
27	12,5

Fuente: (Thompson, 2010).

El arroz puede ser almacenado sobre estas humedades, sin embargo el riesgo de crecimiento de microorganismos aumenta considerablemente y con ello la pérdida de calidad (Thompson, 2010).

La temperatura de almacenaje es otro factor importante a considerar. Mantener la temperatura lo más baja posible durante las épocas de calor reduce la probabilidad de daño por insectos, éstos se vuelven activos cuando la temperatura del grano está sobre los 16°C, la infestación y el daño son muy probables cuando el grano alcanza los 21°C (Thompson, 2010).

Otro de los problemas que sufre el arroz durante su almacenamiento es la diferencia de temperatura entre granos, lo que genera migración de humedad desde los granos del centro, por estar a una mayor temperatura, a los granos de la periferia,

por tener una temperatura menor. El aire caliente al alcanzar las zonas más frías disminuye su temperatura aumentando la humedad de los granos que se encuentran en estas zonas, esto puede producir el desarrollo de microorganismos en estos granos. Una buena práctica para aminorar este problema es utilizar diversos sistemas de aireación forzada, que regulariza la temperatura de todos los granos de arroz (Thompson, 2010).

1.6 Cambios del arroz durante el almacenamiento

Durante el almacenamiento, el arroz sufre distintos cambios que afectan directamente su calidad. Estos cambios se pueden agrupar principalmente en cambios sensoriales y fisicoquímicos.

1.6.1 Cambios Sensoriales

Dentro de los cambios sensoriales, el color es una de las características que menos varía durante el almacenaje. El arroz que lleva más tiempo almacenado va adquiriendo un leve tono más oscuro (marrón) y más opaco que el arroz recién procesado (granos translucidos y brillantes). Estos cambios son asociados directamente al deterioro del arroz por la mayoría de los consumidores. Sólo se notarán cambios en el color bajo condiciones desfavorables de almacenamiento, como elevadas temperaturas de almacenaje y altos contenidos de humedad. Caso similar ocurre con el olor y sabor (Battacharya, 2011).

1.6.2 Cambios químicos

Es importante considerar los cambios de los constituyentes químicos del grano de arroz, tales como carbohidratos, lípidos y proteínas.

1.6.2.1 Almidón

El almidón es el principal polisacárido del arroz, constituyendo el 90% del grano, está formado por fracciones de amilosa y amilopectina. No se han encontrado cambios cuantitativos significativos de estas fracciones durante el almacenamiento del arroz. Sin embargo, se han reportados cambios cualitativos en el almidón, tales como propiedad de aglutinación del grano, temperatura de gelificación y solubilidad del contenido de amilosa del arroz en agua caliente. Se observó que esta última propiedad disminuye durante el almacenamiento del grano. Para el caso de arroz parbolizado se ha encontrado que esta propiedad disminuye en forma proporcional a la severidad del tratamiento de sancochado (Battacharya, 2011).

1.6.2.2 Lípidos

El principal deterioro del arroz blanco ocurre en la fracción grasa, la que representa menos del 1% del grano, a diferencia del arroz integral, que representa entre un 5 a 8 %. Sin embargo, es en esta fracción donde se puede desarrollar rancidez (Houston, Irving, McComb, & Kester, 1954).

Se ha determinado que el contenido total de grasa del arroz blanco no cambia significativamente durante el almacenaje, sin embargo, su composición si lo puede hacer. Muchos autores observaron cambios en varios de sus constituyentes, los ácidos grasos libres pueden aumentar, mientras que las grasas neutras y fosfolípidos disminuir. Estos cambios son más pronunciados a elevadas temperaturas y altos contenidos de humedad (Battacharya, 2011).

Se ha demostrado que el deterioro de lípidos es muy común en los alimentos. En el arroz puede ocurrir rancidez hidrolítica y rancidez oxidativa. La rancidez

hidrolítica, favorecida por altos contenidos de humedad, provoca un incremento de los ácidos grasos libres durante el almacenamiento, estos ácidos pueden formar un complejo con la fracción amilosa, que interfiere en la gelificación e hinchazón del grano de arroz. Algunos estudios además confirman la disminución del pH en el líquido de cocción de arroz, así como el endurecimiento del grano luego de su cocción. Sin embargo, existen estudios que observaron un bajo desarrollo de estos ácidos en el arroz paddy (Battacharya, 2011).

La rancidez oxidativa, favorecida por bajos contenidos de humedad, lleva a la formación de hidroperóxidos y componentes carbonilos, generando cambios en el sabor. Se han identificado seis componentes carbonilos y ocho componentes de sulfuro en el vapor del arroz, y se ha encontrado una clara relación de estos con el olor “añejo” del arroz. Por lo general la proporción de componentes carbonilos aumentan con el tiempo, sin embargo se ha observado que estos componentes se desarrollan en menor proporción en el arroz paddy (Battacharya, 2011).

1.6.2.3 Proteínas

Las proteínas juegan un papel fundamental en los cambios texturales del arroz cocido. En general, diversos autores concuerdan que la desnaturalización de las proteínas ocurre debido a una disminución de las proteínas solubles en el grano de arroz.

Durante la cocción, las proteínas y el almidón son parcialmente destruidos, esto permite formar una interacción entre ellos, causando la aglutinación en el arroz cocinado. El envejecimiento del arroz involucra la formación de subunidades proteicas de mayor peso molecular por la oxidación de grupos sulfhidrilo a puentes disulfuro,

esto durante la cocción del arroz, genera la disminución de componentes sulfuros volátiles generando cambios en el aroma y cambios en la apariencia del grano (Chrastil, 1994). La oxidación de las proteínas conlleva además la interacción entre ellas mismas, inhibiendo el hinchamiento de los gránulos de almidón durante la cocción generando cambios en la textura (Battacharya, 2011).

1.7 Cambios del espárrago durante el almacenamiento

Dentro de los ingredientes del producto se encuentran espárragos y vegetales deshidratados. En los alimentos deshidratados, la velocidad de reacción de deterioro depende del estado de agua presente en el producto. En alimentos con alta actividad de agua, se pueden desencadenar reacciones enzimáticas y crecimiento microbiano, a diferencia de alimentos con una actividad de agua más controlada, donde puede ocurrir pardeamiento no enzimático y oxidación de lípidos (Lajollo & Tannenbaum, 1971).

El color verde de los espárragos se debe a la presencia de dos pigmentos, clorofila a y clorofila b. Estos pigmentos son susceptibles a la oxidación por presencia de oxígeno, luz, peróxidos y elevadas temperaturas.

El primer cambio, observado cuando la molécula de clorofila se expone al calor, es la isomerización, este proceso ocurre rápidamente cuando los vegetales se almacenan a elevadas temperaturas. El átomo de magnesio de la clorofila es desplazado fácilmente por dos iones hidrógeno formándose feofitina de color pardo oliva, reacción irreversible, que altera el color característico del espárrago. Los resultados de los estudios de la velocidad de degradación de clorofila a feofitina en los tejidos vegetales sometidos a calor, presentan una energía de activación que oscila entre 12,6 y 35,2 kcal/mol. Se ha propuesto que la formación de feofitina en las células

vegetales se inicia por un aumento, inducido por el calor, de la permeabilidad de los iones hidrógeno a través de las membranas celulares. Si prosigue el calentamiento, la feofitina desciende y la pirofeofitina aumenta rápidamente, estos derivados son los principales responsables del color pardo de muchas hortalizas tratadas térmicamente (Owen, 2000).

En resumen, la alteración de la clorofila durante el calentamiento es secuencial y ocurre de acuerdo con la siguiente secuencia cinética:

Clorofila → Feofitina → Pirofeofitina

La actividad de agua ha demostrado una gran influencia en la velocidad de degradación de la clorofila en vegetales deshidratados, la espinaca por ejemplo, almacenada a 37 y 55° C con una a_w 0,37, mostró un rápido cambio en el color, pasando de un verde brillante a un pardo olivo, característico de la formación de feofitinas. La degradación de la clorofila a esas temperaturas y a baja a_w , demostró una cinética de orden uno (Lajollo & Tannenbaum, 1971).

Durante el almacenamiento, los vegetales deshidratados pueden presentar otras alteraciones, como pérdida de componentes volátiles y formación de ácidos orgánicos. Estos cambios tienden a modificar la actividad del ion hidrógeno del sistema, con una disminución de pH (Lajollo & Tannenbaum, 1971).

En algunos casos, la vida útil de vegetales verdes deshidratados puede ser estimada por la velocidad de pérdida de clorofila bajo ciertas condiciones de almacenamiento. Si se asume que el producto será aceptable cuando se haya transformado el 20% de la clorofila a feofitina, la vida útil del producto se podría determinar en función de la a_w (Lajollo & Tannenbaum, 1971).

1.8 Términos generales Arroz preparado espárrago Lider

1.8.1 Descripción del producto

El arroz preparado espárrago consiste en una mezcla de arroz parbolizado con una base de espárragos, vegetales deshidratados y condimentos. Envasado en film bilaminado de 210 g. La vida útil de este producto, establecida en el envase, es de 2 años (Tucapel, 2009).

1.8.2 Parámetros de calidad

Se detallan parámetros sensoriales en la Tabla 6, parámetros fisicoquímicos en la Tabla 7 y parámetros microbiológicos en la Tabla 8 (Tucapel, 2009).

Tabla 6. Parámetros Sensoriales.

Parámetro	Estándar
Apariencia	Se identifica arroz, espárragos y polvo de especias
Olor	Característico a espárragos
Sabor	Característico arroz, espárragos y polvo de especias
Consistencia	Típica del producto cocido, graneado y firme

Fuente: (Tucapel, 2009).

Tabla 7. Parámetros Fisicoquímicos.

Parámetro	Target / Tolerancia
Contenido neto	210 g / -9 g
Humedad	12 / ± 2 %

Fuente: (Tucapel, 2009).

Tabla 8. Parámetros Microbiológicos.

Parámetro	Especificación			
	n	c	m	M
Mohos	5	2	10^3	10^4
Levaduras	5	2	5×10^2	5×10^3
<i>Salmonella</i> en 25g	5	0	0	-
<i>E.coli</i>	5	1	10	10^2
<i>S.aureus</i>	5	1	10	10^2
<i>B.cereus</i>	5	2	5×10^2	5×10^3

Fuente: (Tucapel, 2009).

Los límites microbiológicos establecidos según el RSA para este producto se muestran en la Tabla 9 y en la Tabla 10.

Tabla 9. Comidas y platos pre-elaborados que necesariamente requieren cocción.

Parámetro	Especificación			
	n	c	m	M
<i>S.aureus</i>	5	2	10 ²	10 ³
<i>B.cereus</i>	5	2	5 x 10 ²	5 x 10 ³
<i>Salmonella</i> en 25g	5	0	0	-

Fuente: (RSA, 2010).

Tabla 10. Harinas y almidones.

Parámetro	Especificación			
	n	c	M	M
Mohos	5	2	10 ³	10 ⁴
Levaduras	5	2	5 x 10 ²	5 x 10 ³

Fuente: (RSA, 2010).

1.8.3 Condiciones de almacenamiento y transporte

- Almacenamiento del producto: Mantener en lugar fresco y seco.
- Transporte: Temperatura ambiente (Tucapel, 2009).

1.8.4 Especificaciones envase

El envase es un film bilaminado, compuesto por Polipropileno biorientado (BOPP) y polietileno (PE). El empaque resiste hasta 65°C (Tucapel, 2009).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- ✓ Determinar la vida útil de arroz preparado espárrago elaborado por la empresa Tucapel S.A mediante pruebas aceleradas.

2.1.1 Objetivos específicos

- ✓ Entrenar un panel de jueces para evaluar la calidad del producto.
- ✓ Diseñar una tabla de valoración de calidad específica para este producto.
- ✓ Identificar la o las variables de mayor impacto de deterioro del producto.
- ✓ Estimar un modelo cinético que permita determinar la vida útil del producto.
- ✓ Estimar la vida útil del producto a una temperatura de 21°C.

3 METODOLOGÍA

3.1 Materiales

- Arroz preparado espárrago Lider en formato de 210g envasado en film bilaminado, elaborado por empresa Tucapel S.A.

3.2 Equipos

- Tres hornos de convección por gravedad redLINE modelo RE-115, Alemania.
- Dos estufas de cultivo AMILAB modelo ET-35, Chile.
- Balanza analítica CAS, modelo MWP- 3000, Corea.
- Balanza granataria A & D, modelo GX-400, Japón.
- Analizador de actividad de agua Aqualab LITE Decagon, USA.
- Microprocessor pH Meter, modelo WTW-KF, Alemania.
- Tres ollas automáticas MultiCook Somela, modelo MC700, Chile.

3.3 Métodos de análisis

Para estimar la vida útil se aplicó un diseño básico, realizando pruebas aceleradas durante un período de estudio de seis meses.

El número mínimo de temperaturas para conducir un estudio de vida útil fueron tres (Labuza & Schmidl, 1985). Para este estudio se establecieron las temperaturas de almacenamiento de 25°C, 35°C y 45°C, temperaturas recomendadas para estudios de vida útil con productos deshidratados (Labuza & Schmidl, 1985). La diferencia de 10°C permite calcular el factor Q_{10} .

Durante el tiempo de almacenamiento se realizaron pruebas microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales.

Las muestras utilizadas para el estudio correspondían a un único lote de producción. Éstas fueron almacenadas en sus envases originales para simular condiciones reales de comercialización.

En la Tabla 11 se presenta la periodicidad de la toma de muestras, según el análisis realizado y la temperatura de almacenamiento. Todos los análisis se realizaron con el producto crudo, a excepción del análisis sensorial y determinación de pH.

Tabla 11. Secuencia de muestreo para análisis de arroz preparado espárrago Lider.

Análisis	Temperatura de almacenamiento (°C)	Intervalo medición (d)	Muestreo (d)
Sensorial	25°, 35°	14	0, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98,112, 126, 140, 154, 168, 182
	45°	7	0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49
Microbiológico	25°, 35°, 45°	30	0, 30, 60, 90,120, 150,180
Humedad y pH	25°, 35°	14	0, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98,112, 126, 140, 154, 168, 182
	45°	7	0, 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49
Índice peróxido	25°, 35°, 45°	60	0, 60, 120, 180
Actividad de agua	25°, 35°, 45°	45	0, 45, 90, 135, 180

3.4 Metodología experimental

3.4.1 Análisis Microbiológicos

3.4.1.1 Bacillus cereus

Se realizó en laboratorio externo acreditado según la norma NCh3116.Of2008. Microbiología de los Alimentos de Consumo humano y animal - Método horizontal para la enumeración presuntiva de *Bacillus cereus* - Técnica de recuento en placa a 30°C.

3.4.1.2 Staphylococcus aureus

Se realizó en laboratorio externo acreditado según la norma NCh2671.Of2002. Productos hidrobiológicos - Recuento de *S. aureus* coagulasa positiva - Técnica de recuento en placa en agar Baird- Parker.

3.4.1.3 Salmonella en 25 g

Se realizó en laboratorio de recepción de Tucapel S.A, planta Santiago, basado en el método oficial AOAC 989.13. El procedimiento se describe en el Anexo 1.

3.4.1.4 Escherichia coli

Se realizó en laboratorio de recepción de Tucapel S.A, planta Santiago, basado en el método oficial AOAC 991.14. El procedimiento se describe en el Anexo 1.

3.4.1.5 Hongos y Levaduras

Se realizó en laboratorio de recepción de Tucapel S.A, planta Santiago, basado en el método oficial AOAC 997.02. El procedimiento se describe en el Anexo 1.

Todos los análisis se realizaron en quintuplicado como lo indica el Reglamento Sanitario de los Alimentos (RSA, 2010).

3.4.2 Análisis Físicoquímicos

3.4.2.1 Determinación del contenido de humedad

Se realizó en laboratorio de recepción de Tucapel S.A, según la norma NCh534.Of85. Granos alimenticios - Determinación de humedad método práctico. El procedimiento se describe en el Anexo 2.

3.4.2.2 Determinación de pH

Se realizó en el laboratorio de Procesos de Conservación de alimentos de la Universidad de Chile determinado con el equipo pH-metro. El procedimiento se describe en el Anexo 2.

3.4.2.3 Determinación de Índice de peróxido

Se realizó en laboratorio externo acreditado basado en AOCS Official Methods Cd 8b-90, Edition 2009. Índice de Peróxido - Ácido acético - Isocotano.

3.4.2.4 Determinación actividad de agua

Se realizó en laboratorio de recepción de Tucapel S.A, planta Lontué, determinada con el medidor de actividad de agua Aqualab Lite Decagon. El procedimiento se describe en el Anexo 2.

3.4.3 Análisis Sensorial

La calidad del producto se evaluó con un panel entrenado de jueces, las etapas para su elección, selección y entrenamiento se describen a continuación.

3.4.3.1 Elección de jueces

Se eligieron alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad de Chile, que habían cursado la asignatura de Evaluación Sensorial.

3.4.3.2 Selección de jueces

Para su selección se realizaron las pruebas descritas a continuación.

- *Identificación de umbrales para gusto salado*

Se preparó una solución madre de Cloruro de Sodio (NaCl), a partir de la cual se realizaron diluciones, de acuerdo al siguiente protocolo.

1. La solución madre se preparó pesando 25 g de NaCl en balanza con precisión 0,1 g, luego se disolvió en un vaso de precipitado y se llevó a un matraz aforado de 250 ml.
2. Se procedió a hacer las diluciones que se indican en Anexo 3. Se llevaron las alícuotas indicadas a 1000 ml y se guardaron en botellas de vidrio codificadas con las letras indicadas en la penúltima columna de la misma tabla.
3. Por juez se usaron 10 vasos plásticos desechables enumerados del 1 al 10.

El juez debía degustar cuidadosamente la serie de 10 muestras entregadas en orden creciente de concentración y describir las sensaciones percibidas y traspasarlas a la ficha de respuesta (Anexo 4), usando la siguiente nomenclatura:

- 0: Igual a agua
- ? : Distinto al agua, pero no lo identifica. Corresponde al umbral de estímulo.
-)(: Se reconoce de qué gusto se trata. Corresponde al umbral de identificación.
- 1-5: Corresponde a una escala de intensidad creciente posterior al umbral de identificación.

Como umbral de identificación se consideró la concentración a la cual el juez reconoció correctamente el gusto salado y no volvió a equivocarse en las concentraciones posteriores. Se asignó:

- 100% de acierto hasta la identificación de umbral salado a una concentración de 0,06 g/100ml
- 70% de acierto hasta la identificación de umbral salado a una concentración de 0,1 g/100 ml
- 30% acierto hasta la identificación de umbral salado a una concentración de 0,2 g/100ml.

Para aprobar este test, el juez debió identificar el gusto salado a una concentración a lo más de 0,1 g/100 ml, que equivale a un 70% de acierto. Este test fue realizado en una sesión.

- *Test de ordenamiento de colores, rojo, verde y amarillo*

Se preparó una solución madre en donde se utilizaron colorantes artificiales marca Gourmet: para el color verde (azul brillante, tartrazina y amarillo crepúsculo), para el color rojo (ponceau 4R) y para el color amarillo (tartrazina y amarillo crepúsculo).

Las disoluciones y concentraciones respectivas de los tubos codificados se indican en el Anexo 5.

El juez recibió diez tubos de un mismo color con distintas diluciones y debió ordenarlos de manera creciente según su intensidad de color, de izquierda a derecha, con un descanso de 20 minutos entre cada color, anotando sus respuestas en la ficha de respuesta (0 6).

Para la aceptación o rechazo del juez, se calculó el porcentaje de aciertos en base al resultado de las tres evaluaciones. Fueron aceptados aquellos que obtuvieron un porcentaje mayor al 50% de aciertos en las tres diluciones. Este test fue realizado en una sesión.

- *Test triangular*

Este test fue aplicado a productos artesanales como pan y sopaipillas, y otros comerciales como arroz, yogurt y pulpas.

Los productos usados se presentan en la Tabla 12, con sus variaciones.

Tabla 12. Aplicación de los 10 test triangulares.

N° Test Triangular	Producto	Variación
1	Arroz	Tiempo de cocción Arroz preparado espárrago Lider (20 min - 30 min)
2	Arroz	Adición de sal Arroz preparado espárrago Lider (0 g - 1,5 g)
3	Arroz	Marcas de arroz preparado (Lider con espárragos - Tucapel con espárragos)
4	Hallulla	Tiempo de fermentación (0 min-20 min)
5	Hallulla	Temperatura de horneado (180 °C-200 °C)
6	Pulpa	Natural y liofilizada
7	Sopaipilla	Cantidad zapallo (100 g – 20 g) a 170 °C por 4 min
8	Sopaipilla	Temperatura de fritura (150 °C – 170 °C) 60 g de zapallo
9	Yogurt	Next con trozos de fruta y Next con pulpa natural
10	Yogurt	Next con pulpa natural y Next con pulpa liofilizada

El juez recibió tres muestras codificadas, dos iguales y una distinta, y debió evaluar de izquierda a derecha e identificar la muestra distinta indicando su razón. El juez debió anotar sus resultados en la ficha de respuesta (Anexo 7).

Para la aceptación o rechazo del juez se contabilizaron los resultados de los 10 test triangulares a través del porcentaje de aciertos. Fueron aceptados aquellos que obtuvieron un porcentaje mayor al 50% de aciertos como mínimo en los 10 tríos. Se realizaron cinco sesiones de test triangular.

3.4.3.3 Entrenamiento de jueces

Para comenzar la etapa de entrenamiento el juez debía cumplir los siguientes requisitos:

- 50% o más de aciertos en el test ordenamiento de colores
- 50% o más de aciertos en el test triangular
- 70% o más en el test identificación de umbrales para gusto salado
- 80% como mínimo de asistencia

Los jueces seleccionados fueron entrenados específicamente para evaluar la calidad de arroz preparado espárrago, a través del Test de valoración de calidad con escala de Karlsruhe, el cual define tres grados de calidad.

Cada grado de calidad se subdivide en tres subgrupos, tal como se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Grados de calidad, calificación verbal y numérica.

Grados	Calificación verbal	Calificación numérica
Grado 1 Características típicas	Excelente	9
	Muy Buena	8
	Buena	7
Grado 2 Deterioro tolerable	Satisfactoria	6
	Regular	5
	Suficiente	4
Grado 3 Deterioro indeseable	Defectuosa	3
	Mala	2
	Muy Mala	1

El objetivo de esta etapa es elaborar con los jueces seleccionados una Tabla de valoración de calidad con escala de Karlsruhe específica para este producto.

La primera sesión de entrenamiento consistió en una evaluación descriptiva del producto (ASTM, 2011). En una mesa redonda a cada juez se le presentaron tres

grados de calidad, correspondientes a muestras de arroz preparado espárrago con distintas fechas de elaboración, estas se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Muestras de arroz preparado espárrago primera sesión Test descriptivo.

Producto	Fecha de elaboración	Fecha de vencimiento
Arroz preparado espárrago Lider	11-08-2009	11-08-2011
Arroz preparado espárrago Lider	01-12-2010	01-12-2012
Arroz preparado espárrago Lider	15-06-2011	15-06-2013

El modo de preparación del producto fue por cocción tradicional en ollas automáticas, siguiendo los pasos indicados al reverso del envase. Cada muestra contenía 15 g de arroz preparado espárrago, presentada en un vaso plástico desechable codificado. Todas las muestras eran presentas a un temperatura de 47 ± 2 °C. Como medio de neutralización entre muestras se utilizó agua.

El juez evaluó en forma individual los siguientes atributos sensoriales: color arroz, color espárrago, apariencia arroz, apariencia espárrago, olor, sabor, textura arroz y textura espárrago. Luego se realizó una discusión abierta de estos atributos para analizar diferencias de sus descripciones. El juez anotó sus descripciones en la ficha de respuesta (Anexo 8).

Luego se agruparon los resultados obtenidos para cada atributo de acuerdo al siguiente criterio:

- Frecuencia de la característica repetida.
- Dirección de la característica (positiva o negativa).
- Grado de calidad

Se calificó con signo positivo (+) aquellos comentarios que reflejaran características típicas deseables en el producto y con signo negativo (-) aquellas descripciones que reflejaran un deterioro tolerable o indeseable.

La asignación del grado de calidad se realizó de la siguiente manera, si la característica era positiva correspondía a grado 1, si esta era negativa, correspondía a grado 2 (deterioro leve) o 3 (deterioro intolerable). Con la agrupación de los resultados se construyó la tabla preliminar de valoración de calidad para este producto.

La segunda sesión consistió en evaluar las mismas muestras descritas en la primera sesión con la tabla de valoración pre-elaborada. De igual modo, se realizó una discusión de los atributos, con la finalidad de obtener una tabla definitiva y específica para la valoración de calidad.

3.4.3.4 Test de valoración de calidad con escala Karlsruhe

Se fijaron sesiones para evaluar las muestras almacenadas bajo las tres condiciones de almacenamiento. El modo de preparación de las muestras fue igual a la metodología empleada anteriormente.

El juez recibió una muestra codificada, la tabla de valoración de calidad y la ficha de respuesta donde debía consignar sus apreciaciones asignando un puntaje para cada atributo con una escala del 1 al 9 (Anexo 9). Las muestras fueron evaluadas en forma individual, sin posibilidad de realizar comparaciones entre ellas.

El punto de corte se estableció en el límite de comercialización (puntaje 5,5), el que indica que el producto debe ser retirado del comercio. Los atributos fueron evaluados hasta alcanzar el límite de comestibilidad (4,0).

3.4.3.5 Análisis estadístico resultados test de valoración de calidad

Se realizó ANOVA de tres factores (jueces, muestras y tiempo) para cada uno de los atributos evaluados en el programa Satgraphics Centurion XV versión 15.2.06. Los atributos a analizar no debían presentar diferencias entre jueces ($p \leq 0,05$), pero sí entre muestras a distinta temperatura de almacenamiento ($p \geq 0,05$), y tiempo ($p \geq 0,05$).

3.4.4 Variable de respuesta

Se utilizó la pérdida de calidad de cada atributo sensorial como indicador de deterioro respecto al tiempo.

3.4.5 Cinética de deterioro atributos sensoriales

Se realizó un análisis matemático de la variable de respuesta para estimar la vida útil del producto. Se estimó la vida útil de cada atributo sensorial para determinar cuál de ellos presentaba menor vida útil, este atributo considerado como limitante determinará finalmente la vida útil del producto.

El modelo se basó en la ecuación de Arrhenius. El análisis matemático se puede resumir en los siguientes pasos.

1. Se determinó el orden de reacción de cada atributo sensorial en base al criterio de coeficiente de determinación (R^2). Aquel R^2 más cercano a 1 indicaría el orden del atributo.
2. Se calcularon las constantes de velocidad de reacción experimentales (K) a 25°C, 35°C y 34°C con los datos sensoriales obtenidos.
3. A partir de las constantes de velocidades experimentales (K) obtenidas, se calcularon los parámetros cinéticos (E_A y k_0).

4. En base al modelo de Arrhenius se recalcularon las constantes de velocidad de reacción (K).
5. Se calculó la vida útil de cada atributo sensorial a las tres temperaturas de almacenamiento.
6. Se estimó un modelo cinético que calculó la vida útil del producto en función de la temperatura bajo distintas condiciones de almacenamiento. Se seleccionó la temperatura de almacenamiento de 21°C para calcular la vida útil final del producto.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis Microbiológicos

Los resultados del análisis microbiológico para cada temperatura se muestran en la Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17.

El producto no se vio afectado durante el tiempo de experimentación bajo ninguna temperatura de almacenamiento, ya que no se encontraron resultados fuera del límite por gramo especificados por el RSA para los análisis realizados, lo cual concuerda con la bibliografía, que indica que ambientes ácidos y con bajos niveles de actividad de agua, no son aptos para la reproducción de microorganismos como los analizados en el presente trabajo.

Tabla 15. Resultados Microbiológicos muestras almacenadas a 25°C.

Tiempo (mes)	Det. <i>Salmonella</i> en 25 g	<i>B. cereus</i> ufc/g	<i>S.aureus</i> ufc/g	<i>E.coli</i> ufc/g	Mohos ufc/g	Levadura ufc/g
0	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
1	Aus.	2,0E+01	< 10	< 10	1,0E+01	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	2,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	6,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	1,0E+01	< 10
2	Aus.	< 10	< 10	< 10	1,0E+01	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	1,0E+01	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	1,0E+01	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	1,0E+01	2,0E+01
	Aus.	< 10	1,0E+01	1,0E+01	1,0E+02	< 10
3	Aus.	1,0E+01	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
4	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+03
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	1,0E+01	< 10	< 10	< 10	1,0E+02
	Aus.	< 10	< 10	< 10	1,0E+01	< 10
	Aus.	1,0E+01	< 10	< 10	< 10	< 10
5	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	1,0E+01	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
6	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

Tabla 16. Resultados Microbiológicos muestras almacenadas a 35°C.

Tiempo (mes)	Det. <i>Salmonella</i> en 25 g	<i>B. cereus</i> ufc/g	<i>S.aureus</i> ufc/g	<i>E.coli</i> ufc/g	Mohos ufc/g	Levadura ufc/g
0	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
1	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	7,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	2,0E+01	2,0E+01
	Aus.	1,0E+01	< 10	< 10	< 10	< 10
2	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	2,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	2,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
3	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	2,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	2,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	2,0E+01
4	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+02
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+03
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	1,0E+01	< 10	< 10	< 10	1,0E+03
5	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	1,0E+01	2,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	1,0E+01	1,0E+01
6	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

Tabla 17. Resultados Microbiológicos muestras almacenadas a 45°C.

Tiempo (mes)	Det. <i>Salmonella</i> en 25 g	<i>B. cereus</i> ufc/g	<i>S.aureus</i> ufc/g	<i>E.coli</i> ufc/g	Mohos ufc/g	Levadura ufc/g
0	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
1	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	3,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	1,1E+02	< 10	< 10	< 10	8,0E+01
4	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+02
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
5	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
6	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	1,0E+01	< 10
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	1,0E+01
	Aus.	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

4.2 Análisis Físicoquímicos

4.2.1 Contenido de humedad a distintas temperaturas de almacenamiento

Los resultados del contenido de humedad en función del tiempo para cada temperatura se muestran en la Figura 4.

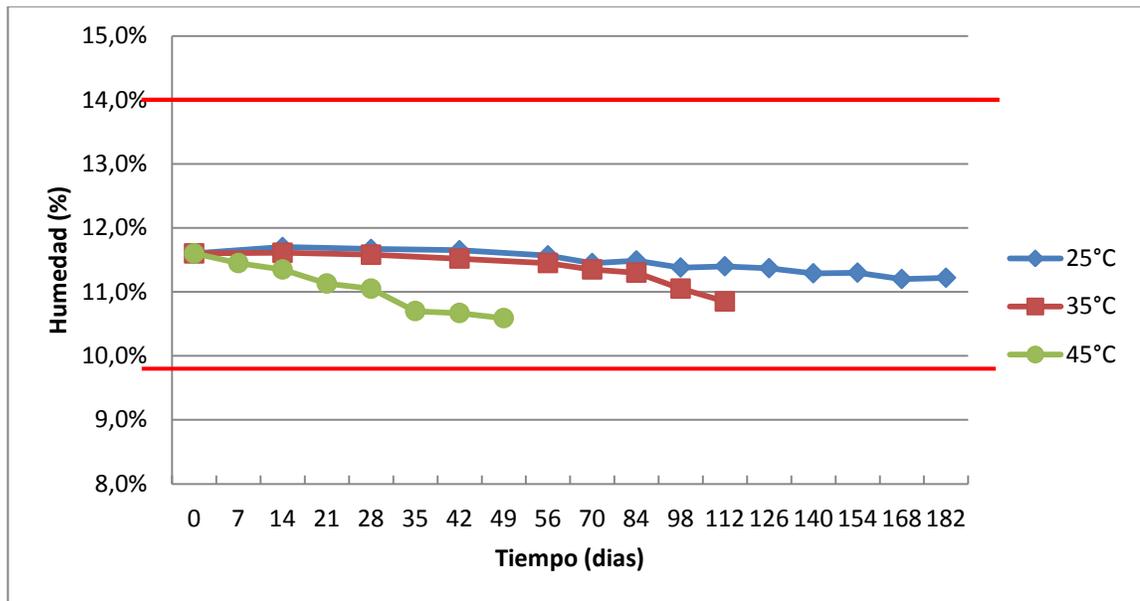


Figura 4. Variación en el tiempo del contenido de humedad según temperatura de almacenamiento.

Se observa un descenso progresivo del contenido de humedad con el paso del tiempo. La razón de cambio de esta variable con respecto al tiempo es mayor mientras más elevada sea la temperatura de almacenamiento.

Tucapel S.A especifica un valor 12 ± 2 % como aceptable. Al inicio del estudio las muestras presentaron un valor $11,6 \pm 3$ %. El valor mínimo alcanzado ocurrió a los 182 días para los 25°C ($11,2 \pm 2$ %), a los 112 días para los 35°C (10,85%) y a los 49

días para los 45°C (10,59%); por lo que todas las muestras permanecieron dentro del rango aceptable al dentro del período de estudio.

Los granos de arroz son higroscópicos por naturaleza, esto significa que se humedecen o secan dependiendo de la temperatura y humedad relativa que los rodea.

Para almacenamientos prolongados, de 6 meses en adelante, se recomienda una humedad de 13% o menos, valor que se cumple para las tres condiciones de almacenamiento durante el período de estudio.

4.2.1 pH a distintas temperaturas de almacenamiento

Los valores de pH en función del tiempo para cada temperatura se muestran en la Figura 5.

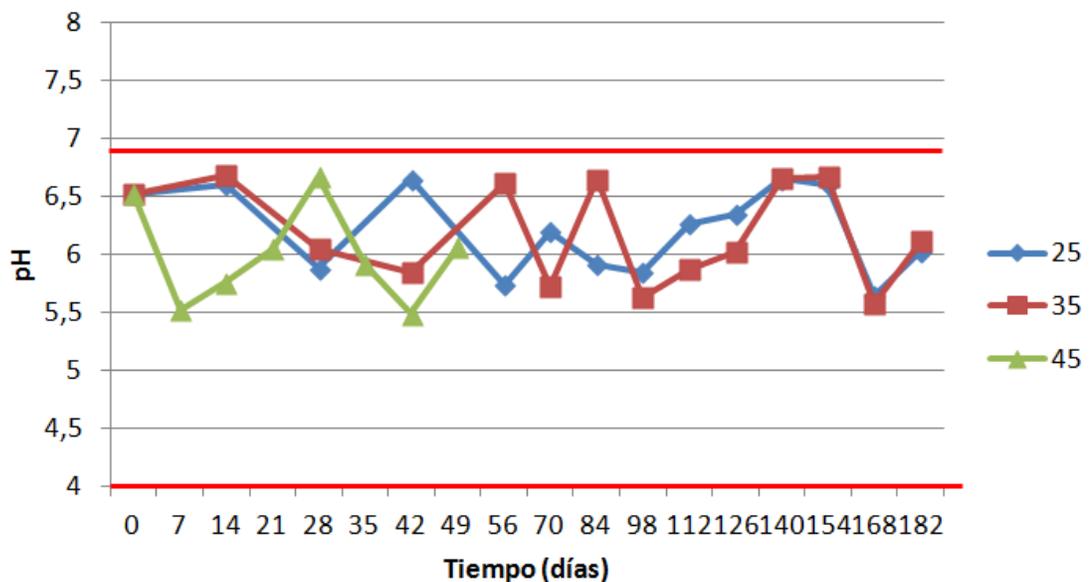


Figura 5. Variación en el tiempo de pH según temperatura de almacenamiento.

Se observa que el pH no sigue una tendencia en el tiempo para las tres temperaturas de almacenamiento, ya que los valores aumentan y disminuyen en forma irregular.

La gran dispersión de datos puede explicarse en la proporción aleatoria de espárrago- arroz existente en la muestra utilizada para realizar el análisis. La literatura detalla para el espárrago cocido un rango de pH entre 4,0 - 6,0 y para el arroz cocido entre 6,0 - 6,7.

La disminución de pH en algunas mediciones se puede atribuir a que los granos arroz generan ácidos grasos libres durante el almacenamiento, mientras que los vegetales deshidratados pueden presentar pérdida de componentes volátiles y formación de ácidos orgánicos. Estos cambios tienden a modificar la actividad del ion hidrogeno del sistema, con una disminución de pH (Lajollo & Tannenbaum, 1971).

4.2.2 Actividad de agua a distintas temperaturas de almacenamiento

Las variaciones de actividad de agua en el tiempo según temperatura de almacenamiento se observan en la Tabla 18.

Tabla 18. Variación en el tiempo de actividad de agua según temperatura de almacenamiento.

Tiempo (días)	Actividad de agua a_w		
	25°C	35°C	45°C
0	0,495	0,495	0,495
45	0,507	0,454	0,497
90	0,521	0,477	0,451
135	0,413	0,371	0,300
180	0,512	0,545	0,539

El RSA no señala un valor máximo de actividad de agua para arroz, sin embargo Tucapel S.A establece un valor $<0,62$.

Se puede observar que todas las mediciones realizadas en el tiempo para cada temperatura están bajo el valor máximo definido.

Los microorganismos no proliferan a bajas actividades de agua, siendo los hongos los más resistentes, que pueden desarrollarse a valores de $a_w \approx 0,6$. Por lo tanto, con la actividad de agua que posee este producto es poco probable que ocurra desarrollo microbiano. Se señala que alimentos secos y estables seguramente tienen a_w por debajo de 0,6 (Labuza, 1980).

4.2.3 Índice de Peróxido a distintas temperaturas de almacenamiento

Los resultados de índice de peróxidos en función del tiempo para cada temperatura se muestran en la Tabla 19

Tabla 19. Variación en el tiempo Índice de peróxidos según temperatura de almacenamiento.

Tiempo (Mes)	Índice de peróxido		
	25°C	35°C	45°C
0	0,5	0,5	0,5
1	-	-	1,58
2	27,8	27,6	23,2
3	-	-	15,8
4	17,2	13,3	23,6
5	19,9	20,19	-
6	0,5	0,5	0,5

La evolución de peróxidos en el tiempo aumenta y disminuye en forma irregular para cada temperatura. El desarrollo de peróxidos se atribuye al deterioro oxidativo de

la fracción grasa del grano de arroz durante el almacenamiento generando cambios en el aroma y ocasionando sabor rancio. La rancidez oxidativa resulta de la formación de hidroperóxidos en la etapa de iniciación, estos se acumulan durante la etapa de propagación, para degradarse finalmente en la etapa de terminación formando aldehídos y cetonas responsables del olor rancio.

La literatura no especifica un valor límite de peróxidos para este producto en particular. Sin embargo, para los cereales en general se considera un valor límite de 15 meq O₂/kg grasa, en donde, el alimento está rancio (Estevez, 2011). Se debe tener en cuenta, que a pesar de que los valores alcanzados superan el valor límite, la fracción grasa corresponde a menos del 1% del grano, siendo imperceptible el sabor rancio en pruebas sensoriales realizadas.

La explicación a la inconsistencia de los datos obtenidos, probablemente se deba a que este análisis se realizó con el producto crudo, a diferencia del análisis sensorial, en donde se evaluó el arroz cocido. Durante el proceso de cocción se volatilizan diversos componentes carbonilos y sulfuros responsables del olor rancio del arroz, que no son detectados al momento de probar el arroz.

4.3 Análisis Sensorial

4.3.1 Elección de jueces

Se eligió a 14 alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la Universidad de Chile, que habían cursado la asignatura Evaluación Sensorial.

4.3.2 Selección de jueces

4.3.2.1 Resumen etapa selección de jueces

Los resultados de las tres pruebas de selección se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Resumen etapa selección de jueces.

Juez	% Acierto Identificación umbrales	% Acierto Test ordenamiento de colores	% Acierto Test triangulares
I	70	40	43
II	100	63	100
III	100	53	67
IV	100	43	67
V	100	67	80
VI	70	50	50
VII	100	50	80
VIII	100	73	56
IX	100	50	50
X	100	73	50
XI	70	70	86
XII	100	87	83
XIII	70	47	70
XIV	100	70	71

Color rojo: jueces eliminados por presentar resultados bajo el límite de selección.

Se eliminaron tres jueces por no cumplir con los criterios establecidos para la etapa de selección, el cuarto juez por motivos personales abandonó el panel sensorial, quedando un total de diez jueces para la etapa de entrenamiento (Anexo 10).

4.3.3 Entrenamiento de jueces

La Tabla 21 muestra el resultado de la agrupación de los datos obtenidos del análisis descriptivo. El grado de calidad asignado a cada descriptor fue validado junto al Departamento Aseguramiento de Calidad y Desarrollo de empresas Tucapel S.A.

Tabla 21. Descripción de atributos arroz preparado espárrago Lider.

Atributo	Descriptor	Frecuencia	Dirección de la característica	Grado de calidad
Color arroz	amarillo pálido	13	-	2-3
	amarillo intenso	11	+	1
	homogéneo	5	+	1
	no homogéneo	6	-	2-3
Color espárrago	verde pálido	8	-	2
	verde típico	6	+	1
	leves tonos marrón	9	-	2-3
	marrón	12	-	3
Apariencia arroz	granos enteros	12	+	1
	granos partidos	5	-	1
	bien conservada	20	+	1
	alterada	9	-	2-3
Apariencia espárrago	bien conservado	17	+	1
	trozos enteros	4	+	1
	trozos partidos	8	-	3
	trozos deshidratados	4	-	3
Olor	Insípido	8	-	2-3
	equilibrado	10	+	1-2
	rancio	2	-	3
	heno	5	-	3
Sabor	aceptable	20	+	1
	alterado	4	-	3
	rancio	2	-	3
	algo insípido	4	-	2-3
Textura arroz	graneado	8	+	1
	granos firme	15	+	1
	duro	9	-	2-3
	aglomerado	3	-	2-3
Textura espárrago	turgente	8	+	1
	uniforme	10	+	1
	blando	7	-	2-3
	duro	5	-	3

La descripción de cada atributo para muestras con tres grados de calidad permitió elaborar la Tabla de valoración de calidad.

En la segunda sesión se perfeccionó la tabla con las observaciones realizadas por los jueces, la Tabla final de Valoración de Calidad con escala de Karlsruhe se presenta en la Tabla 22.

Tabla 22. Tabla general del test de valoración de calidad con escala de Karlsruhe Arroz preparado espárrago Lider.

Atributo	Calidad Grado 1: Características Típicas			Calidad Grado 2: Deterioro Tolerable			Calidad Grado 3: Deterioro Indeseable		
	Excelente 9	Muy Buena 8	Buena 7	Satisfactoria 6	Regular 5	Suficiente 4	Defectuosa 3	Mala 2	Muy Mala 1
Color arroz	Arroz natural, amarillo típico, color homogéneo.	Arroz natural, amarillo típico, pocas unidades más o menos coloreadas	Arroz amarillo levemente pálido u oscuro, algunas unidades más o menos coloreadas.	Arroz ligeramente alterado, algo pálido u oscuro.	Arroz alterado, pálido u oscuro	Arroz fuertemente alterado, muy pálido o muy oscuro	Arroz sin su color típico, cambiados.	Arroz sin su color típico.	Color francamente alterado, repugnante.
Color espárrago	Espárragos naturales verde típico.	Espárragos naturales, verde típico con más o menos tonos marrón u otros	Espárragos verdes con leves tonos marrón u otros	Espárragos ligeramente alterados, tonos marrón u otros	Espárragos alterados tonos marrón u otros	Espárragos fuertemente alterados, marrón u otros	Espárragos sin su color típico, cambiados.	Espárragos sin su color típico.	Color francamente alterado, repugnante.
Apariencia/ Forma arroz	Completamente bien conservada. Granos enteros.	Muy bien conservada. Algunos granos ligeramente modificados, partidos.	Bien conservada. Algunos granos modificados, partidos.	Aún conservada. Algunos granos modificados o notoriamente modificados.	Algo alterada. Granos arroz completamente modificados y partidos.	Cambiada. En general granos muy modificados, partidos.	Muy cambiada. Granos completamente modificados, partidos	Intensamente cambiada.	Completamente alterada.
Apariencia/ Forma espárrago	Completamente bien conservada. Espárragos enteros	Muy bien conservada. Espárragos aún enteros	Bien conservada Espárragos levemente partidos.	Aún conservada. Espárragos algo partidos, algo dañados, algo deshidratados	Algo alterada. Espárragos partidos, dañados, deshidratados	Cambiada. Espárragos muy dañados, muy partidos, muy deshidratados	Muy cambiada. Espárragos completamente dañados, deshechos, deshidratados	Intensamente cambiada.	Completamente alterada.
Olor	Específico, Pronunciado a arroz con espárragos Muy equilibrado, intenso.	Específico, aún intenso a arroz con espárragos Equilibrado.	Específico Leve a arroz con espárragos Aún equilibrado.	Levemente perjudicado Ligeramente plano. Casi no se siente a arroz con espárragos.	Alterado, todavía aceptable. Plano, insípido. No se siente a arroz con espárragos.	Claramente alterado. Leve olor a heno.	Alterado. rancio, olor a heno, fermentado. No típico.	Alterado, desagradable. rancio, intenso a heno,	Extraño, putrefacto, fermentado. Francamente deteriorado.
Sabor	Específico Pronunciado a arroz con espárragos. Muy equilibrado, intenso.	Específico, aún intenso a arroz con espárragos .Equilibrado.	Específico Leve a arroz con espárragos. Aún equilibrado.	Levemente perjudicado Ligeramente plano. Casi no se siente a arroz con espárragos.	Alterado, todavía aceptable. Plano, insípido. No se siente a arroz con espárragos.	Claramente alterado.	Alterado. rancio,. No típico.	Alterado, desagradable. Rancio.	Extraño, desagradable, Francamente deteriorado.
Textura arroz	Excepcionalmente buena, típica, graneado, granos firmes y uniformes.	Muy buena, típica, graneado, granos algo menos firmes y uniformes.	Normal, aún típica. Arroz aún graneado, granos menos firmes y uniformes.	Normal, ligeramente alterada. Arroz ligeramente aglomerado, húmedo o seco.	Alterada, producto aún aceptable. Arroz algo aglomerado, húmedo o seco	Claramente alterada. Arroz aglomerado, húmedo o seco	Claramente, modificada. Arroz muy aglomerado, húmedo o seco.	Muy modificada Arroz completamente aglomerado, húmedo o seco.	Completamente alterada.
Textura espárrago	Excepcionalmente buena, típica, Espárragos uniformes, tiernos, turgentes	Muy buena, típica Espárragos algo menos uniformes, tiernos, turgentes.	Normal, aún típica. Espárragos menos uniformes, tiernos y turgentes, levemente blandos o duros.	Normal, ligeramente alterada. Espárragos ligeramente desuniformes, blandos o duros.	Alterada, producto aún aceptable. Espárragos algo más desuniformes, blandos o duros.	Claramente alterada. Espárragos más desuniformes: blandos o duros.	Claramente, modificada. Espárragos muy blandos o duros.	Muy modificada Espárragos completamente blandos o duros.	Completamente alterada.

4.4 Análisis estadístico resultados Test de valoración de calidad con escala Karlsruhe

Luego de analizar los resultados obtenidos en el tiempo se eliminó un juez por presentar diferencias significativas con el grupo. El análisis de vida útil se realizó por lo tanto con un total de nueve jueces.

Los ocho atributos analizados no presentaron diferencias significativas entre jueces ($p \leq 0,05$), pero sí entre muestras a distinta temperatura de almacenamiento ($p \geq 0,05$) y tiempo ($p \geq 0,05$) (Anexo 11).

4.4.1 Test de valoración de calidad con escala de Karlsruhe

En la Tabla 23, Tabla 24 y Tabla 25 se presentan los puntajes promedios por atributo obtenidos del Test de Karlsruhe con respecto al tiempo.

Tabla 23. Puntaje promedio por atributo para las muestras almacenadas a 25°C.

Atributo	Tiempo (días)													
	0	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182
Color Arroz	8,6	8,2	8,1	7,7	7,2	7,1	6,9	7,1	6,8	6,3	6,2	5,8	5,8	5,6
Color Espárrago	8,3	8,1	8,4	7,2	7,0	6,7	6,8	6,8	6,9	6,3	6,1	6,0	5,7	5,6
Apariencia Arroz	8,7	8,3	8,4	7,9	7,4	7,6	7,6	7,3	7,3	7,2	7,1	6,9	6,4	6,3
Apariencia Espárrago	8,3	8,2	7,9	7,3	6,6	6,7	6,6	6,0	6,0	5,8	5,6	5,4	5,1	4,7
Olor	8,1	7,4	7,6	7,2	7,1	7,1	7,3	7,2	6,9	6,6	6,3	6,3	5,9	5,8
Sabor	8,2	8,0	7,8	7,2	7,0	6,7	7,0	6,6	6,3	6,2	6,0	6,0	5,8	5,7
Textura arroz	8,4	8,3	8,1	7,2	6,8	7,0	6,9	6,9	6,4	6,2	5,8	5,7	5,4	5,4
Textura Espárrago	8,3	8,2	7,7	7,0	6,9	6,6	6,7	6,4	6,1	5,9	5,8	5,6	5,4	5,1

Color verde: Grado 1 (Características típicas) y color amarillo: Grado 2 (Deterioro tolerable).

Tabla 24. Puntaje promedio por atributo para las muestras almacenadas a 35°C.

Atributo	Tiempo (días)													
	0	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140	154	168	182
Color Arroz	8,6	8,1	7,2	7,0	5,9	5,6	5,4	4,9	3,7	4,0	3,1	3,1	2,6	2,0
Color Espárrago	8,3	7,3	7,2	6,2	5,4	4,6	4,9	4,9	4,2	4,0	3,8	3,8	3,3	3,1
Apariencia Arroz	8,7	7,7	7,7	7,6	7,1	6,3	6,4	7,1	6,6	6,3	6,0	6,0	5,8	6,1
Apariencia Espárrago	8,3	7,3	7,2	6,7	5,9	5,6	5,3	4,9	4,4	4,2	4,1	4,1	4,1	3,8
Olor	8,1	7,2	7,2	6,6	6,2	5,8	5,4	4,9	4,8	4,7	4,9	4,8	4,8	4,4
Sabor	8,2	7,8	6,9	6,7	6,3	6,0	5,8	5,6	5,2	4,7	4,4	4,4	4,4	4,2
Textura arroz	8,4	7,8	7,1	6,4	6,2	5,8	5,9	6,1	5,4	5,4	4,9	4,7	4,7	4,2
Textura Espárrago	8,3	7,2	6,9	6,3	6,2	5,7	5,4	5,0	4,3	3,7	3,8	3,8	3,8	3,7

Color verde: Grado 1 (Características típicas), color amarillo: Grado 2 (Deterioro tolerable) y color rojo: Grado 3 (Deterioro indeseable).

Tabla 25. Puntaje promedio por atributo para las muestras almacenadas a 45°C.

Atributo	Tiempo (días)							
	0	7	14	21	28	35	42	49
Color Arroz	8,6	7,0	5,6	5,6	4,9	4,7	4,0	3,8
Color Espárrago	8,3	6,6	5,9	5,4	4,7	4,6	3,8	3,4
Apariencia Arroz	8,7	8,1	7,6	7,1	6,2	7,1	6,2	6,2
Apariencia Espárrago	8,3	7,0	6,6	5,8	5,4	5,1	3,8	3,7
Olor	8,1	7,0	6,0	6,2	5,8	5,7	5,4	4,2
Sabor	8,2	6,6	5,9	6,0	5,1	5,4	4,8	4,2
Textura arroz	8,4	7,1	6,1	5,9	5,2	5,6	5,1	4,4
Textura Espárrago	8,3	6,7	5,8	5,6	4,8	4,2	4,3	4,0

Color verde: Grado 1 (Características típicas), color amarillo: Grado 2 (Deterioro tolerable) y color rojo: Grado 3 (Deterioro indeseable).

En la mayoría de los parámetros se observa un deterioro progresivo en el tiempo, el cual se intensifica con el aumento de temperatura de almacenamiento.

Es importante mencionar que durante el período de estudio la mayoría de los parámetros a 25°C no alcanzan el límite de comercialización, a diferencia del resto de las temperaturas.

Con los puntajes promedios anteriormente calculados se estimará la vida útil de cada atributo sensorial.

4.5 Cinética de deterioro atributos sensoriales

A continuación se detalla el análisis matemático de un único atributo sensorial, “apariencia espárrago”. La estimación de la vida útil del resto de los atributos sensoriales sigue la misma metodología empleada. Luego de haber estimado la vida útil de cada atributo sensorial se determinará el atributo limitante, aquel con menor vida útil. Este atributo determinará finalmente la vida útil del producto.

4.5.1 Determinación orden cinético de reacción y vida útil

La cinética de reacción del atributo apariencia espárrago fue de orden uno por presentar mayores coeficientes de determinación (R^2), la Tabla 26 muestra los coeficientes de determinación a cada temperatura de almacenamiento para cada orden de reacción. El orden de reacción del resto de los atributos se muestra en el Anexo 12.

Tabla 26. Coeficientes de determinación atributo apariencia espárrago.

Atributo	Temperatura (°C)	R^2	
		Orden cero	Orden uno
Apariencia espárrago	25	0,9647	0,9754
	35	0,9247	0,9568
	45	0,9685	0,9646

Color rojo: Mayores R^2 .

La Figura 6 muestra la pérdida de calidad del atributo apariencia espárrago a la temperatura de almacenamiento 25°C.

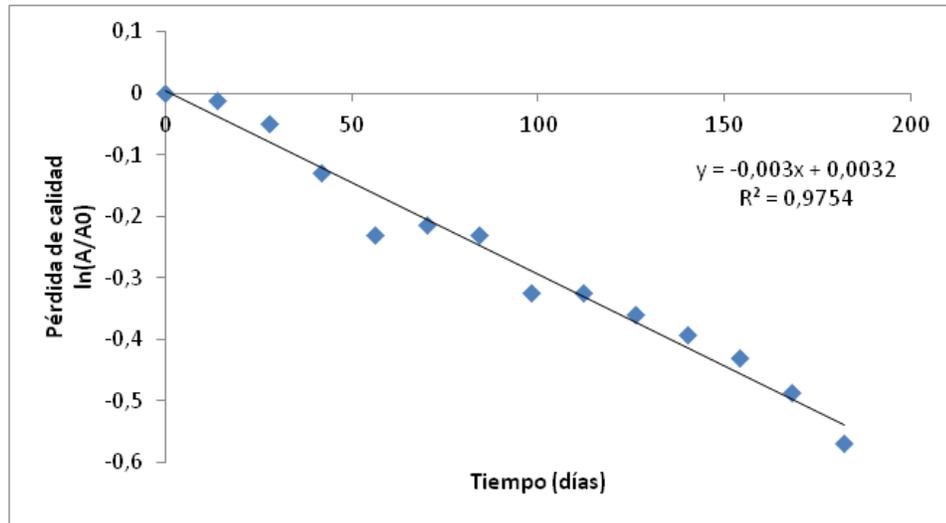


Figura 6. Curva de velocidad orden cinético uno “apariencia espárrago” a 25°C.

La pendiente de esta recta es equivalente a la constante de velocidad de reacción K a 25°C. De forma similar se obtienen los valores de la constante de reacción a las otras temperaturas para este atributo, utilizando los datos de seguimiento reportados en la Tabla 24 y Tabla 25. Las constantes de velocidad de reacción del resto de los atributos aparecen en el Anexo 13.

Tabla 27. Constantes de velocidad de reacción del atributo apariencia espárrago a cada temperatura.

Atributo	Constante de velocidad de reacción (K)		
	25°C	35°C	45°C
Apariencia espárrago	0,003	0,0043	0,0162

La Figura 7 es un gráfico del logaritmo natural de las constantes de velocidad de reacción K contra el inverso de las temperaturas del atributo apariencia espárrago.

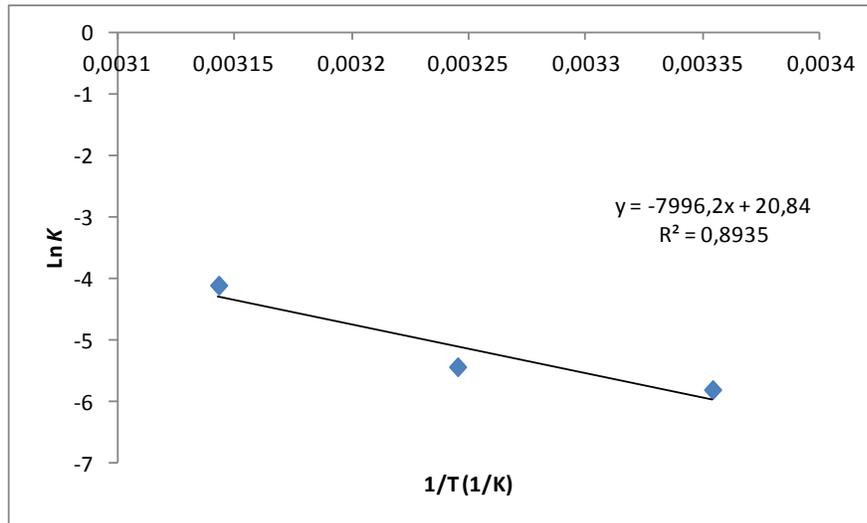


Figura 7. Variación de la constante de velocidad de reacción K con la temperatura atributo apariencia espárrago.

A partir de la pendiente del gráfico de la Figura 7 y del término independiente se calculan la energía de activación (E_A) y el factor pre-exponencial (k_0) utilizando la ecuación (8).

$$E_A = 7.996,2 * R = 7.996,2 * 1,986 \frac{Cal}{mol} = 15.880,52 \frac{Cal}{mol}$$

$$k_0 = e^{20,84} = 1,1238 * 10^9 (días)^{-1}$$

Las energías de activación y factores pre-exponenciales del resto de los atributos aparecen en el Anexo 14.

La solución de la ecuación (6) de la revisión bibliográfica para orden uno ($n = 1$), da como resultado la siguiente expresión:

$$Ln \left[\frac{A}{A_0} \right] = -Kt \quad (10)$$

Esta ecuación puede resolverse para calcular el tiempo necesario para que el atributo apariencia espárrago llegue a cierto valor inaceptable a cierta temperatura. Los valores de energía de activación y factor pre-exponencial calculados arriba permiten recalculer el valor de la constante de reacción K a las tres temperaturas de estudio.

$$K_{25^{\circ}C} = 1,1238 * 10^9 * e^{[(\frac{-15.880,52}{1,986}) * (\frac{1}{273,15+25})]} = 0,0025 \text{ (días)}^{-1}$$

$$K_{35^{\circ}C} = 1,1238 * 10^9 * e^{[(\frac{-15.880,52}{1,986}) * (\frac{1}{273,15+35})]} = 0,0060 \text{ (días)}^{-1}$$

$$K_{45^{\circ}C} = 1,1238 * 10^9 * e^{[(\frac{-15.880,52}{1,986}) * (\frac{1}{273,15+45})]} = 0,0137 \text{ (días)}^{-1}$$

Las constantes de reacción recalculadas a las tres temperaturas de estudio del resto de los atributos aparecen en el Anexo 15.

Reemplazando en la ecuación (10) los puntajes iniciales y finales (límite comercialización 5,5) del atributo apariencia espárrago y resolviendo para t se tiene:

$$t_{25^{\circ}C} = \frac{\text{Ln}[\frac{5,5}{8,1}]}{0,0025} = 162,6 \text{ (días)}$$

$$t_{35^{\circ}C} = \frac{\text{Ln}[\frac{5,5}{8,1}]}{0,0060} = 68,1 \text{ (días)}$$

$$t_{45^{\circ}C} = \frac{\text{Ln}[\frac{5,5}{8,1}]}{0,0137} = 30,1 \text{ (días)}$$

Tabla 28. Vida útil experimental atributo apariencia espárrago a cada temperatura de almacenamiento.

Atributo	Vida útil experimental (días)		
	Límite comercialización (5,5)		
Apariencia espárrago	25°C	35°C	45°C
		162	68

La vida útil experimental del resto de los atributos a cada temperatura de almacenamiento aparece en el Anexo 16.

De la Figura 8 se obtiene mediante regresión lineal la ecuación (11) con la que puede estimarse la vida útil del producto para diferentes temperaturas de almacenamiento.

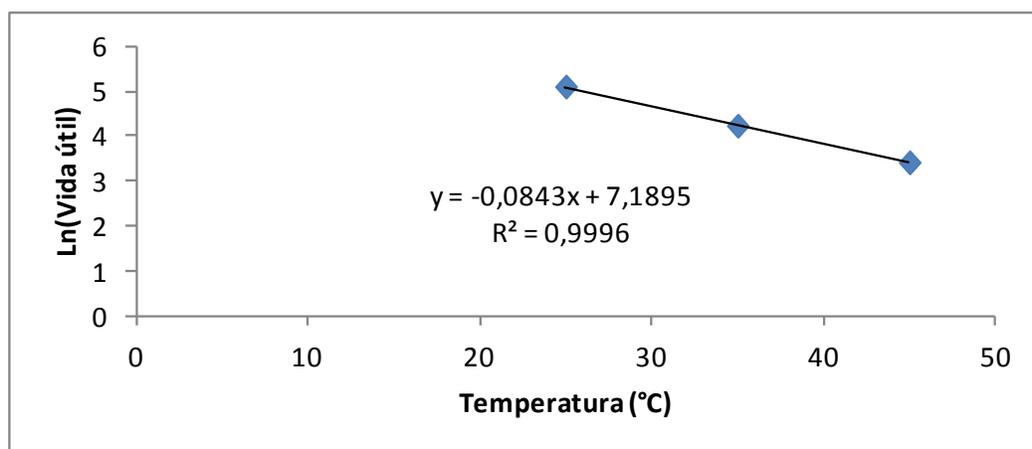


Figura 8. Gráfico vida útil en función de las temperaturas.

$$\ln Vida\ útil = -0,0843T + 7,1895 \quad (11)$$

Despejando la ecuación (11) se obtiene la ecuación de vida útil en función de la temperatura de almacenamiento (12), utilizando el límite de comercialización como punto de corte.

$$Vida\ útil = e^{(-0,0843T+7,1895)} \quad (12)$$

Las ecuaciones de vida útil del resto de los atributos aparecen en el Anexo 17.

En la Tabla 29 se presentan los valores de vida útil para 21°C.

Tabla 29. Valores de vida útil para 21°C.

Temperatura (°C)	Vida útil atributo Apariencia espárrago (días)	
	Límite de comercialización (5,5)	Límite de comestibilidad (4,0)
21	225	400

La Tabla 30 muestra la vida útil estimada de cada atributo a una temperatura de 21°C según el límite de comercialización y el límite de comestibilidad.

Tabla 30. Vida útil por parámetro sensorial a 21°C con distintos puntos de corte.

Atributo	Vida útil a 21°C (días)	
	Límite de comercialización (5,5)	Límite de comestibilidad (4,0)
Color Arroz	264	452
Color Espárrago	306	543
Apariencia Arroz	475	804
*Apariencia Espárrago	225	400
Olor	391	714
Sabor	304	547
Textura Arroz	266	466
Textura Espárrago	248	446

*Color rojo: Atributo limitante

Se recomienda utilizar el límite de comercialización para la estimación de la vida útil.

4.5.2 Cálculo parámetro Q_{10}

A partir de los valores obtenidos en la Tabla 29 se calculó el parámetro Q_{10} experimental según la ecuación (9), y el Q_{10} utilizando la pendiente del modelo para 21°C.

$$Q_{10 \text{ exp.}(25-35^{\circ}\text{C})} = \frac{162}{68} = 2,39$$

$$Q_{10 \text{ exp.}(35-45^{\circ}\text{C})} = \frac{68}{30} = 2,27$$

$$Q_{10 (21^{\circ}\text{C})} = e^{10 \cdot 0,0843} = 2,32$$

El valor Q_{10} para 21°C fue 2,32, esto significa que la velocidad de reacción de deterioro se acelera 2,32 veces por cada 10°C de temperatura que se aumenten. Este resultado se asemeja en gran medida a los Q_{10} calculados experimentalmente y se encuentra dentro del rango reportado por la literatura para las reacciones de alteración de los alimentos $Q_{10} = 2 - 3$.

Los Q_{10} del resto de los atributos aparecen en el Anexo 18.

4.6 Vida útil Arroz preparado espárrago

La vida útil del arroz preparado espárrago a 21°C fue condicionada por el atributo limitante apariencia espárrago, obteniendo 225 días (7,5 meses) con el límite de comercialización, y 400 días (1 año 1 mes) con el límite de comestibilidad.

La vida útil obtenida experimentalmente es bastante inferior al tiempo sugerido indicado en el envase, de 2 años. Si bien, el producto no representa un riesgo microbiológico durante este período, los atributos sensoriales presentarán deterioro, cambiando la aceptabilidad del producto por parte del consumidor.

Los atributos que presentaron deterioro más rápido en el tiempo fueron la apariencia y textura del espárrago, mientras que la apariencia del arroz fue el atributo que presentó mayor vida útil, prácticamente no viéndose afectado a elevadas temperaturas.

El deterioro de los espárragos se atribuyó a pérdida de forma, apariencia deshidratada, pérdida de turgencia y textura blanda, defectos de calidad, que pueden ocasionarse durante el almacenamiento, debido a que la enzima pectín metilesterasa cataliza la hidrólisis de pectina a ácido péctico y metanol, provocando el ablandamiento del vegetal. Esta reacción se acelerará a elevadas temperaturas, disminuyendo así la vida útil del vegetal.

5 CONCLUSIONES

- ✓ La calidad del producto no se vio afectada microbiológicamente bajo ninguna temperatura de almacenamiento durante todo el período de estudio.

- ✓ La calidad del producto no se vio afectada por las variables fisicoquímicas (contenido de humedad, pH, y actividad de agua) bajo ninguna temperatura de almacenamiento durante todo el período de estudio.

- ✓ La calidad del producto si se vio afectada sensorialmente. Siendo el atributo limitante “apariencia espárrago”, aquel con menor vida útil.

- ✓ El orden de reacción el atributo “apariencia espárrago” fue uno y la energía de activación fue de 15.880 cal/mol.

- ✓ La vida útil del producto estimada a 21°C fue de 225 y 400 días para el límite de comercialización y límite de comestibilidad, respectivamente. Bastante inferior a la mencionada en el envase del producto, correspondiente a 2 años.

6 RECOMENDACIONES

- ✓ Para la realización de futuros estudios de durabilidad en la empresa, se recomienda la implementación de un panel sensorial permanente y constante, así como el aumento del número de jueces. Se debe tener especial cuidado en la etapa de entrenamiento, a modo de evitar diferencias significativas entre ellos.

- ✓ Se recomienda trabajar temperaturas inferiores a 45°C, ya que a esta temperatura el deterioro de los vegetales deshidratados fue muy acelerado, pudiendo haberse desencadenado otras reacciones químicas que no se producirían en este tipo de productos a una temperatura real de almacenamiento, acortando con ello la vida útil del producto. La temperatura máxima de almacenamiento no debería exceder los 40°C.

7 BIBLIOGRAFÍA

ASTM E2454 - 05(2011). Standard Guide for Sensory evaluation methods to determine the sensory shelf life of consumer products. West Conshohocken, United States.

Battacharya, K. R. (2011). *Rice quality. A guide to rice properties and analysis*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Cantillo, J. A., & Fernández, C. M. (1994). Durabilidad de los alimentos. Métodos de estimación. Instituto de investigaciones para la industria alimentaria. La Habana, Cuba.

Casp, A., & Abril, J. (2003). *Procesos de conservación de alimentos*. Mundi-prensa; Amv.

Chica, B. A., & Osorio, S. L. (2003). Determinación de la vida de anaquel del chocolate de mesa sin azúcar en una película de polipropileno biorientado. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. Tesis de grado.

Chrastil, J. (1994). Stickiness of oryzenin and starch mixtures from preharvest and postharvest rice grains. *J Agric Food Chem* , 42: 2147- 2151.

CIRENcorfo. (1987). *Manual del cultivo de espárrago*. Santiago: CIREN.

Condón, S. (2009). Tecnologías tradicionales de conservación e higienización de los alimentos. Zaragoza: Catedrático de Tecnología de lo Alimentos.

Curia, A., Fiszman, S., Gámbaro García, A., Garitta, L., Gómez Melis, G., Hough, G. (2005). *Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos*. (G. Hough, & S. Fiszman, Edits.) Madrid, España: Programa CYTED.

Estevez, A. M. (2011) Profesor Fac. Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.Consulta vía electrónica.

Fernández, J., Garcia, T., & Matínez, R. (Mayo de 2009). Evaluación de la vida útil de los alimentos. Caracas, Venezuela.

Fraser, A. (2010). Peligros de origen microbiano. *Food Safety* , 5-9.

García, C., & Molina, M. (2008). Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. San José, Costa Rica.

Giraldo, G. I. (1999). Métodos de estudio de vida de anaquel de los alimentos. Monografía. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

Gordon, R. L. (1993). *Food Packaging: Principles and Practices*. New York: Marcel Dekker.

Houston, D. F., Irving, H. R., McComb, E. A., & Kester, E. B. (1954). Cereal Storage effects. Deteriorative Changes in the oil fraction of stored parboiled rice. *Agricultural and food chemistry* , 2 (23): 1185-1190.

IFST. (1993). Shelf life of food- Guidelines for its determination and prediction. Institute of Food Science & Technology. London.

Kilcast, D., & Subramanian, P. (2000). *The estability and shelf life of foods*. Washington, DC: Woodhead Publishing Limited y CRC Press LLC.

Kramer, A., & Twigg, B. (1968). *Measure of frozen food quality and quality changes, in the Freezing Preservation of Foods*. Westport, Conn: Tressler, D.K., Ed., AVI Publishing.

Kuntz, L. (1991). Accelerated shelf life testing. Nueva York: Weeks Publishing Co.

Labuza, T. P. (1982). *Shelf life dating of foods*. Westport, Connecticut: Food & Nutrition Press.

Labuza, T. P., & Schmidl, M. K. (1985). Accelerated Shelf-Life Testing of Foods. *Food Technology* , 39: 57-64.

Labuza, T., & Fu, B. (1997). *Shelf life testing: Procedures and prediction methods for frozen foods*. Denver: CRC Press.

Labuza, T., & Szybits, L. (2004). *Open Dating of Foods*. Food and Nutrition PRESS INC.

Lajollo, F., & Tannenbaum, S. (1971). Reaction al limited water concentration. *Journal of Food Science*, 36: 850- 853.

(2000). Química de los alimentos. En F. Owen. España: ACRIBIA S.A.

Potter, N. (1978). *La ciencia de los alimentos* (Segunda edición ed.). México: Edutex, S.A.

Rondón, E., Pacheco, E., & Ortega, F. (2004). Estimación de la vida útil de un análogo comercial de mayonesa utilizando el factor de aceleración Q10. *Revista de la Facultad de Agronomía* , 21 (1): 68-83.

Rotstein, E., Valentas, K. J., & Singh, R. P. (1997). *Handbook of Food Engineering Practice*. Boca Raton: CRC Press LLC.

RSA. (2010). Reglamento sanitario de los alimentos. Ministerio de Salud. Decreto N° 997/96. Versión actualizada.

Saguy, I., & Karel, M. (1980). Modeling of quality deterioration during food precessing and storage. *Food Technology* , 78-85.

Sewald, M., & DeVries, J. (2011). Food Product Shelf Life. Minnesota.

Soto, R. (2000). El uso de antioxidantes como protectores de la calidad en productos alimenticios. *Industria y Alimentos* , 47- 51.

Steele, R. (Ed.). (2004). *Understanding and measuring the shelf-life of food*. Woodhead Publishing Limited y CRC Press LLC.

Thompson, J. F. (2010). *Kraemer & Co. Mfg.,Inc*. Recuperado el 29 de Enero de 2012, de http://www.kcomfg.com/_docs/PDFs/Rice_Storage.pdf

Tucapel. (2009). *Especificación técnica producto terminado*. Aseguramiento de calidad y desarrollo.

Velásquez Fernández, B. I. (2007). Evaluación de la vida de anaquel de mayonesa con diferentes tipos de antioxidantes utilizando el método de envejecimeinto acelerado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Tesis de grado.

ANEXOS

Anexo 1 Metodología análisis microbiológicos

- **Salmonella en 25g**

Se realiza mediante el 1-2 Test, marca Biocontrol, método rápido cualitativo para la detección de *Salmonella* móvil en alimentos e ingredientes. El procedimiento es el siguiente:

1. Preparación del medio de cultivo: Pesar 20 g de polvo peptonado buffer y diluirlos a 1 litro de agua destilada. Homogeneizar y esterilizar por 15 min a 121°C. Llevar a temperatura ambiente.
2. Preparación de la muestra: Pesar 25 g de producto y diluirlos a 225 ml de medio de cultivo. Incubarlo a 35°C por 24 h \pm 2.
3. Inoculación: Poner el 1-2 Test con la tapa negra hacia arriba y quitar la tapa. Agregar una gota de reactivo I (solución de iodo-ioduro) a la cámara de inoculación. Tapar y agitar para homogeneizar. Poner nuevamente el 1-2 Test con la tapa negra hacia arriba y quitarla. Quitar el tapón (plug) de la cámara usando una pinza estéril, desechar el tapón. Transferir a la cámara de inoculación 100 ml de la muestra preparada. Poner el 1-2 Test con la tapa blanca hacia arriba y quitarla, cortar la punta de esta tapa con tijeras estériles y desecharla. Agregar una gota de reactivo II (anticuerpo) en la cámara de movilidad y cerrar.
4. Incubación: Incubar de 14 a 30 h a 35- 37°C.
5. Interpretación de resultados:

- Resultado positivo: se detecta por la presencia de una banda blanca en forma de U en la mitad más alta de la cámara de movilidad.

- Resultado negativo: Si no hay formación de banda después de 14 h.

- ***Escherichia coli***

Para el recuento de *E. coli* se utilizan placas Petrifilm, marca 3M. Estas contienen nutrientes de bilis, rojo violeta, un agente gelificante soluble en agua fría, un indicador de actividad Glucoronidasa y un colorante indicador que facilita la enumeración de las colonias. El procedimiento es el siguiente:

1. Preparación del medio de cultivo: Pesar 1 g de polvo peptonado buffer y diluirlos a 1 litro de agua destilada. Homogeneizar y esterilizar por 15 minutos a 121°C. Llevar a temperatura ambiente.
2. Preparación de la muestra: Pesar 10 g de producto y diluirlos a 90 ml de medio de cultivo. Homogeneizar.
3. Inoculación: Colocar la placa Petrifilm en una superficie nivelada, levantar la película superior y colocar con una micropipeta 1 ml de la muestra preparada. Liberar la película superior dejando que caiga sobre la dilución. Presionar suavemente sobre la placa Petrifilm con un dispensador para distribuir el inóculo en el área circular.
4. Incubación: Incubar por 48 h \pm 2 h a 35°C \pm 1°C.
5. Interpretación de resultados: Presencia de *E.coli* si se observan colonias azules asociadas a gas atrapado en la placa.

- **Hongos y Levaduras**

Para el recuento de mohos y levaduras se utilizan placas Petrifilm, marca 3M. Es un sistema de medio de cultivo listo para ser empleado, contiene nutrientes de Sabhi, dos antibióticos, indicador de fosfatos, un agente gelificante soluble en agua fría y un colorante indicador que facilita la enumeración de las colonias.

El procedimiento es el siguiente:

1. Preparación del medio de cultivo: Pesar 1 g de polvo peptonada buffer y diluirlos a 1 litro de agua destilada. Homogeneizar y esterilizar por 15 minutos a 121°C. Llevar a temperatura ambiente.
2. Preparación de la muestra: Pesar 10 g de producto y diluirlos en 90 ml de medio de cultivo. Homogeneizar.
3. Inoculación: Colocar la placa Petrifilm en una superficie nivelada, levantar la película superior y colocar con una micropipeta 1 ml de la muestra preparada. Liberar la película superior dejando que caiga sobre la dilución. Presionar suavemente sobre la placa Petrifilm con un dispensador para distribuir el inóculo en el área circular.
4. Incubación: Incubar por 5 días a 21- 25°C.
5. Interpretación de resultados:
 - Presencia de hongos: se observan colonias de variadas formas y colores, se caracterizan por ser grandes, con bordes difusos y apariencia plana.
 - Presencia de levaduras: se observan colonias pequeñas, de bordes definidos y apariencia abultada, el color puede variar de beige hasta azul verdoso.

Anexo 2 Metodología análisis fisicoquímicos

- **Determinación del contenido de humedad**

Para medirla se deben seguir los siguientes pasos:

1. Encender el horno y programar la temperatura a 70°C. Esperar a que esta temperatura esté constante.
2. Pesar 10 g de la muestra en una placa de petri previamente lavada, secada en horno y enfriada en desecador. Tomar la placa con pinzas.
3. Tomar la placa que contiene la muestra y colocarla en la estufa hasta que esta llegue a peso constante.
4. Después de este período, sacar rápidamente la placa con la muestra seca con las pinzas de la estufa y colocarla en el desecador por 30 a 45 minutos.
5. Posteriormente masar la placa con la muestra seca y enfriada, y restarle el peso de la placa vacía.
6. Luego realizar el siguiente cálculo:

$$\%Humedad = \frac{m - m_1}{m} * 100$$

En que:

m = peso en gramos de la muestra original

m₁ = peso en gramos de la muestra seca

- **Determinación de pH**

Para medirlo se deben seguir los siguientes pasos:

1. Pesar en una balanza granataria 5g de arroz cocido en un vaso precipitado.
2. Montar la muestra en el titroprocesador e introducir el electrodo.
3. Esperar hasta que el valor del pH se estabilice, y realizar la lectura.

- **Determinación de Índice de peróxido**

Se realiza en laboratorio externo acreditado.

- **Determinación actividad de agua**

Para medirla se deben seguir los siguientes pasos:

1. Encender el equipo, subir la tapa de éste y verificar que la goma de presión esté bien firme y realice el sello apropiado.
2. Agregar 5g de la muestra en el recipiente cubriendo toda la superficie. La muestra debe estar a temperatura ambiente.
3. Colocar el recipiente dentro del equipo, bajar la tapa de éste y presionar el botón para iniciar la medición.
4. El equipo demora entre 3 a 5 min antes de arrojar el resultado.

Anexo 3 Diluciones usadas para la identificación de umbral de gusto salado

Tabla 31. Diluciones y claves usadas para la identificación de umbral de gusto salado.

Compuesto	Diluciones (ml) (llevar a 1000 ml)*	Concentración (g/100ml)	Clave	Asignación de aciertos (%)
NaCl (pro análisis)	0	0	S1	100
	2	0,02	S2	100
	4	0,04	S3	100
	6	0,06	S4	100
	8	0,08	S5	70
	10	0,1	S6	70
	13	0,13	S7	30
	15	0,15	S8	30
	18	0,18	S9	30
	20	0,2	S10	30

A partir de una solución madre de 25g en 250 ml de NaCl pro análisis.

Anexo 4 Ficha de respuesta Umbral de identificación

FICHA DE RESPUESTA N° 1

UMBRAL DE IDENTIFICACIÓN

Nombre: _____ Fecha: _____

Set : _____

Deguste cuidadosamente la serie de 10 muestras entregadas; corresponden a **concentraciones crecientes de uno de los gustos básicos (dulce, ácido, salado o amargo)**.

No está permitido volver atrás en la degustación. Enjuague con agua entre muestras. No trague las muestras. Describa el gusto y factores que Ud. perciba de cada muestra (por ejemplo: astringente, áspero, seco, etc.) e informe acerca de la intensidad según la escala siguiente:

0 = Igual a agua.

? = Diferente del agua, pero el gusto no es identificable.

) (= Se reconoce de qué gusto se trata. Corresponde al umbral de identificación.

1 = Débil

2 = Medio

3 = Intenso, marcado

4 = Muy intenso, muy marcado

5 = Extremadamente intenso, extremadamente marcado.

Solución N°	Descripción del gusto y factores percibidos	Intensidad (en escala 0 a 5, o símbolos)(o?)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Anexo 5 Concentraciones ordenamiento de colores

Tabla 32. Ordenamiento de colores, rojo, verde y amarillo.

Ordenamiento color rojo		Ordenamiento color verde		Ordenamiento color amarillo	
Concentración (ml solución madre/ml solución)	Código	Concentración (ml solución madre/ml solución)	Código	Concentración (ml solución madre/ml solución)	Código
0	O	0	R	0	Z
10	F	10	L	10	K
20	L	20	S	20	W
25	A	25	W	25	R
30	W	30	Z	30	M
35	K	35	F	35	S
40	P	40	K	40	A
45	S	45	M	45	P
50	R	50	P	50	F
55	M	55	A	55	L

Anexo 6 Ficha de respuesta Ranking de color

FICHA DE RESPUESTA N° 2

RANKING DE COLOR

Nombre: _____ Fecha: _____

Set : _____

Por favor ordene los tubos que contienen las soluciones coloreadas de acuerdo al aumento de intensidad de color.

Anote en la línea inferior la letra de cada tubo en el orden que haya establecido.

Rojo

(más débil)

(más intenso)

Verde

(más débil)

(más intenso)

Amarillo

(más débil)

(más intenso)

Anexo 7 Ficha de respuesta Test triangular

FICHA DE RESPUESTA N° 3

TEST TRIANGULAR

Nombre: _____ Fecha: _____

Set : _____

Usted recibirá un grupo de tres muestras. Dos de estas son iguales y la otra es diferente. Por favor, marque el número de la muestra diferente. Indique razón de su elección,

Anexo 8 Ficha de respuesta Test descriptivo

FICHA DE RESPUESTA N° 4

TEST DESCRIPTIVO

Nombre: _____ Fecha: _____

Set : _____

Por favor describa lo más detalladamente cada una de las características del producto.

No utilice palabras como “desagradable, bueno o malo”.

Atributo	Muestra	Descripción
Color arroz		
Color espárrago		
Apariencia arroz		
Apariencia espárrago		
Olor		
Sabor		
Textura arroz		
Textura espárrago		

Anexo 9 Ficha de respuesta Test Karlsruhe

FICHA DE RESPUESTA N° 5

TEST DE KARLSRUHE

Nombre: _____ Fecha: _____

Muestra	Atributo	Puntaje	Observaciones
	Color arroz		
	Color espárrago		
	Apariencia arroz		
	Apariencia espárrago		
	Olor		
	Sabor		
	Textura arroz		
	Textura espárrago		
Muestra	Atributo	Puntaje	Observaciones
	Color arroz		
	Color espárrago		
	Apariencia arroz		
	Apariencia espárrago		
	Olor		
	Sabor		
	Textura arroz		
	Textura espárrago		
Muestra	Atributo	Puntaje	Observaciones
	Color arroz		
	Color espárrago		
	Apariencia arroz		
	Apariencia espárrago		
	Olor		
	Sabor		
	Textura arroz		
	Textura espárrago		

Anexo 10 Resultados Pruebas Test selección de jueces

- **Identificación de umbrales para gusto salado**

La Tabla 33 muestra los resultados obtenidos por juez para la prueba Identificación de umbrales para gusto salado.

Tabla 33. Resultados Identificación de umbrales gusto salado.

Juez	Umbral de identificación de gusto salado (g NaCl/100ml)	% Aciertos
I	0,08	70
II	0,06	100
III	0,06	100
IV	0,06	100
V	0,06	100
VI	0,1	70
VII	0,04	100
VIII	0,04	100
IX	0,06	100
X	0,06	100
XI	0,08	70
XII	0,06	100
XIII	0,08	70
XIV	0,04	100

Entre un 0,04 a 0,06 g NaCl/100 ml, corresponden a un 100% de aciertos, entre un 0,07 a 0,1 g NaCl/100 ml, corresponden a un 70% de aciertos.

Todos los jueces aprobaron esta prueba.

- **Test de ordenamiento de colores, rojo, verde y amarillo**

La Tabla 34 muestra los resultados obtenidos por juez para los tres ordenamientos, con el porcentaje de aciertos por color y el promedio de aciertos totales.

Tabla 34. Resultados Test de ordenamiento de colores.

Juez	Rojo (%)	Verde (%)	Amarillo (%)	Promedio aciertos 3 colores (%)
I	10	80	30	40
II	60	80	50	63
III	50	60	50	53
IV	50	50	30	43
V	80	80	40	67
VI	30	80	40	50
VII	50	50	50	50
VIII	80	100	40	73
IX	50	60	40	50
X	60	80	80	73
XI	80	80	50	70
XII	100	80	80	87
XIII	60	60	20	47
XIV	80	80	50	70

Los jueces I, IV y XIII presentaron un promedio inferior al 50%, por lo que no cumplen con los requisitos exigidos en este test.

- **Test triangular**

La Tabla 35 muestra los resultados obtenidos por juez de los diez test triangulares, se detallan sus aciertos, total de tríos evaluados, y porcentaje de aciertos totales, correspondientes a evaluaciones en que el juez acertó.

Tabla 35. Resultados Test triangular.

Juez	Aciertos	Ausencias	Total de tríos evaluados por cada juez	% Aciertos Totales
I	3	3	7	43
II	10	0	10	100
III	6	1	9	67
IV	4	4	6	67
V	8	0	10	80
VI	5	0	10	50
VII	8	0	10	80
VIII	5	1	9	56
IX	5	0	10	50
X	5	0	10	50
XI	6	3	7	86
XII	5	4	6	83
XIII	7	0	10	70
XIV	5	3	7	71

El juez I presenta un porcentaje inferior al 50% de aciertos totales, por lo que no cumple con los requisitos exigidos en este test.

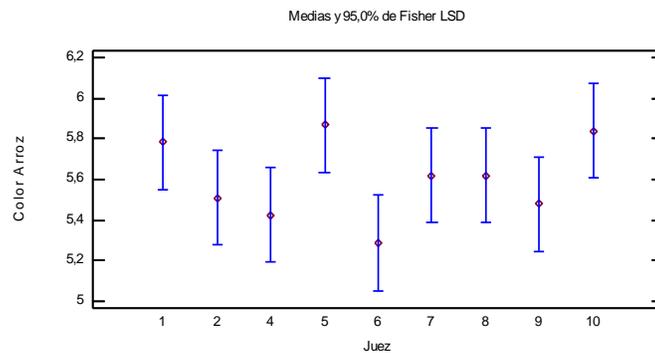
Anexo 11 Resultado estadístico Test valoración de calidad escala Karlsruhe

- **Atributo color arroz**

Análisis de Varianza para Color Arroz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Juez	11,4506	8	1,43133	1,42	0,1866
B:Temperatura	335,132	2	167,566	166,47	0,0000
C:Tiempo	661,515	17	38,9127	38,66	0,0000
RESIDUOS	297,955	296	1,0066		
TOTAL (CORREGIDO)	1206,84	323			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

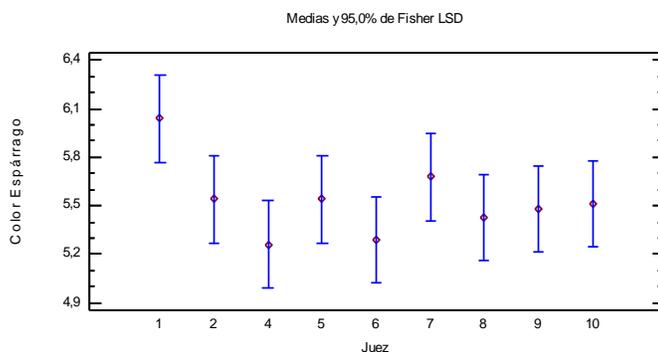


- **Atributo color espárrago**

Análisis de Varianza para Color Espárrago - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Juez	15,2778	8	1,90972	1,46	0,1707
B:Temperatura	292,009	2	146,004	111,77	0,0000
C:Tiempo	497,387	17	29,2581	22,40	0,0000
RESIDUOS	386,677	296	1,30634		
TOTAL (CORREGIDO)	1118,97	323			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

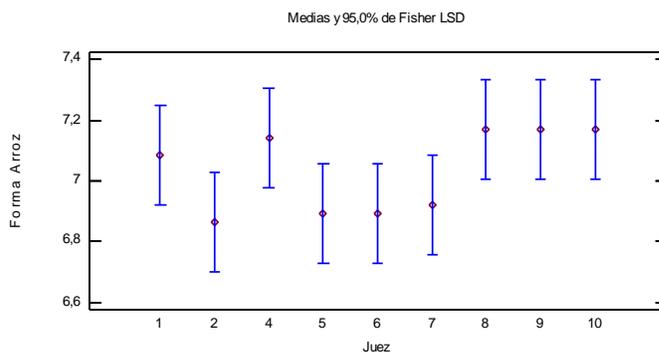


- **Atributo apariencia arroz**

Análisis de Varianza para Apariencia Arroz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Juez	5,46914	8	0,683642	1,38	0,2030
B:Temperatura	48,7447	2	24,3724	49,33	0,0000
C:Tiempo	170,403	17	10,0237	20,29	0,0000
RESIDUOS	146,249	296	0,494085		
TOTAL (CORREGIDO)	349,469	323			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

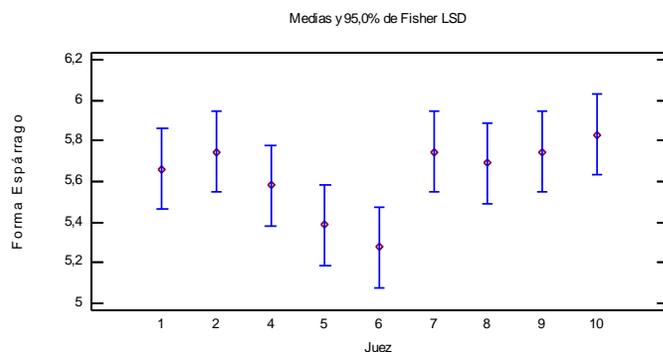


- **Atributo apariencia espárrago**

Análisis de Varianza para Apariencia Espárrago - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Juez	9,87654	8	1,23457	1,69	0,0999
B:Temperatura	128,467	2	64,2335	88,01	0,0000
C:Tiempo	518,802	17	30,5178	41,81	0,0000
RESIDUOS	216,045	296	0,729883		
TOTAL (CORREGIDO)	811,543	323			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

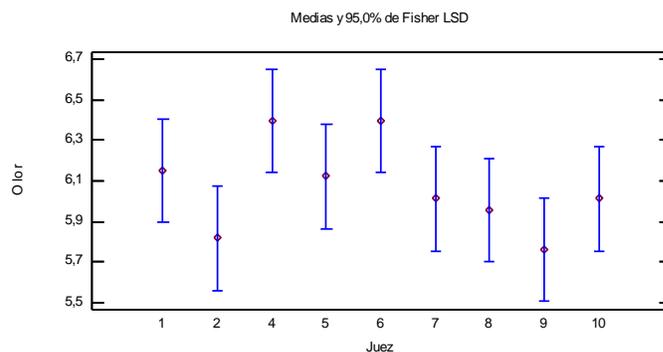


- **Atributo Olor**

Análisis de Varianza para Olor - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Juez	14,6358	8	1,82948	1,52	0,1487
B:Temperatura	123,005	2	61,5023	51,18	0,0000
C:Tiempo	255,214	17	15,0126	12,49	0,0000
RESIDUOS	355,674	296	1,2016		
TOTAL (CORREGIDO)	723,247	323			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

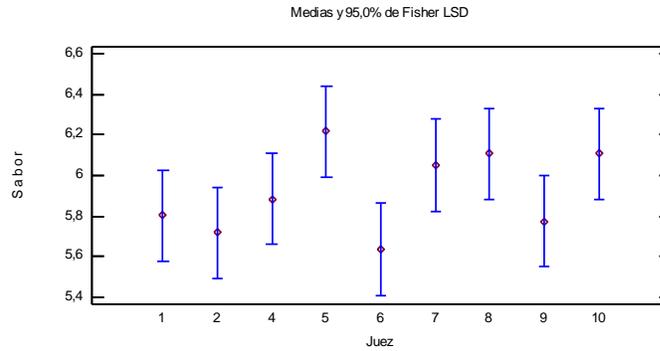


- **Atributo Sabor**

Análisis de Varianza para Sabor - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Juez	12,0556	8	1,50694	1,62	0,1195
B:Temperatura	122,243	2	61,1214	65,56	0,0000
C:Tiempo	335,177	17	19,7163	21,15	0,0000
RESIDUOS	275,942	296	0,932238		
TOTAL (CORREGIDO)	696,889	323			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

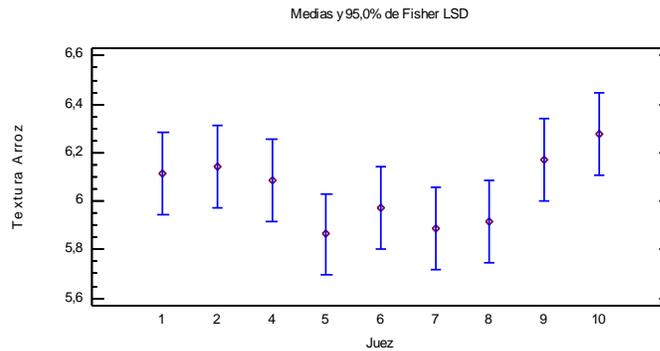


- **Atributo textura arroz**

Análisis de Varianza para Textura Arroz - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Juez	5,88889	8	0,736111	1,40	0,1965
B:Temperatura	97,9253	2	48,9626	93,02	0,0000
C:Tiempo	369,649	17	21,7441	41,31	0,0000
RESIDUOS	155,797	296	0,526341		
TOTAL (CORREGIDO)	581,639	323			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

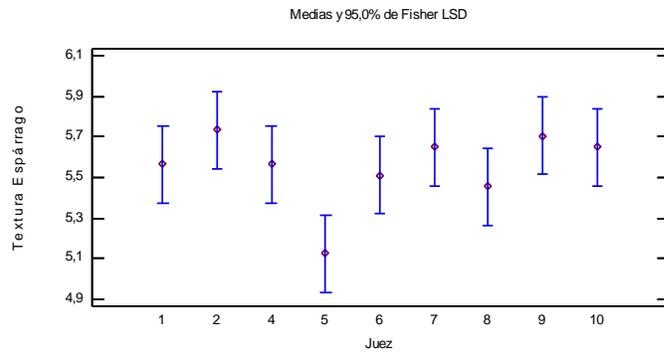


- **Atributo textura espárrago**

Análisis de Varianza para Textura Espárrago - Suma de Cuadrados Tipo III

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Juez	9,78395	8	1,22299	1,83	0,0712
B:Temperatura	167,971	2	83,9854	125,63	0,0000
C:Tiempo	485,565	17	28,5627	42,73	0,0000
RESIDUOS	197,875	296	0,668496		
TOTAL (CORREGIDO)	804,256	323			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual



Anexo 12 Coeficientes de determinación R² de atributos sensoriales

Tabla 36. Coeficientes de determinación de atributos sensoriales a cada temperatura.

Atributo	Temperatura (°C)	R ²		Orden de reacción
		Orden cero	Orden uno	
Color Arroz	25	0,9689	0,9729	1
	35	0,9810	0,9697	
	45	0,8934	0,9493	
Color Espárrago	25	0,9004	0,9181	1
	35	0,9103	0,9568	
	45	0,9380	0,9776	
Apariencia Arroz	25	0,9259	0,9259	1
	35	0,8070	0,8222	
	45	0,8272	0,8236	
Apariencia Espárrago	25	0,9647	0,9754	1
	35	0,9247	0,9568	
	45	0,9685	0,9646	
Olor	25	0,8940	0,8903	0
	35	0,8733	0,8979	
	45	0,8705	0,8678	
Sabor	25	0,9479	0,9624	1
	35	0,9554	0,9761	
	45	0,8672	0,9056	
Textura arroz	25	0,9452	0,9553	1
	35	0,9178	0,9463	
	45	0,8623	0,8969	
Textura Espárrago	25	0,9591	0,9758	1
	35	0,9308	0,9464	
	45	0,8887	0,9358	

Color rojo: El atributo olor presenta un mejor ajuste al orden de reacción 0.

Anexo 13 Constantes de velocidad de reacción

Tabla 37. Constantes de velocidad de reacción experimentales (K) de atributos sensoriales a cada temperatura.

Atributo	25°C		35°C		45°C	
	K	R ²	K	R ²	K	R ²
Color Arroz	0,0023	0,9729	0,0075	0,9697	0,0156	0,9493
Color Espárrago	0,0021	0,9181	0,0051	0,9568	0,0168	0,9776
Apariencia Arroz	0,0015	0,9259	0,0019	0,8222	0,0069	0,8236
Apariencia Espárrago	0,0030	0,9754	0,0043	0,9568	0,0162	0,9646
Olor	0,0016	0,8903	0,0032	0,8979	0,0104	0,8678
Sabor	0,0020	0,9624	0,0038	0,9761	0,0114	0,9056
Textura Arroz	0,0025	0,9553	0,0033	0,9463	0,0112	0,8969
Textura Espárrago	0,0025	0,9758	0,0047	0,9464	0,0144	0,9358

Anexo 14 Parámetros cinéticos atributos sensoriales

Tabla 38. Energías de activación (E_a) y factores pre-exponenciales (k_0).

Atributo	E_a	k_0
Color Arroz	18.057,08	4,31E+10
Color Espárrago	19.399,81	3,40E+11
Apariencia Arroz	13.928,05	2,11E+07
Apariencia Espárrago	15.880,52	1,12E+09
Olor	17.829,72	1,71E+10
Sabor	16.330,31	1,74E+09
Textura Arroz	14.020,52	4,08E+07
Textura Espárrago	16.270,19	1,99E+09

Anexo 15 Constantes de velocidad de reacción recalculados K

Tabla 39. Constantes de velocidad de reacción recalculados (K) de atributos sensoriales.

Atributo	25°C	35°C	45°C
Color Arroz	0,0025	0,0066	0,0167
Color Espárrago	0,0020	0,0058	0,0157
Apariencia Arroz	0,0013	0,0028	0,0056
Apariencia Espárrago	0,0025	0,0060	0,0137
Olor	0,0014	0,0038	0,0095
Sabor	0,0018	0,0045	0,0104
Textura Arroz	0,0021	0,0046	0,0094
Textura Espárrago	0,0023	0,0057	0,0131

Anexo 16 Vida útil experimental atributos sensoriales

Tabla 40. Vida útil experimental atributos sensoriales según punto de corte.

Parámetro	Tiempo (días)					
	Límite comercialización (5,5)			Límite contestabilidad (4,0)		
	25°C	35°C	45°C	25°C	35°C	45°C
Color Arroz	181	67	26	311	115	45
Color Espárrago	205	70	26	363	125	46
Apariencia Arroz	356	166	81	603	281	137
Apariencia Espárrago	162	68	30	288	120	53
Olor	271	102	40	494	186	74
Sabor	217	88	38	391	159	69
Textura Arroz	199	92	44	348	161	78
Textura Espárrago	177	72	31	314	128	55

Anexo 17 Ecuaciones vida útil en función de la temperatura de atributos sensoriales

Tabla 41. Ecuaciones vida útil para cada atributo sensorial.

Parámetro	Límite comercialización (5,5)	R²	Límite comestibilidad (4,0)	R²
Color Arroz	$t = e^{-0,0959T+7,5899}$	0,9996	$t = e^{-0,0959T+8,1278}$	0,9996
Color Espárrago	$t = e^{-0,1030T+7,8870}$	0,9996	$t = e^{-0,1030T+8,4602}$	0,9996
Apariencia Arroz	$t = e^{-0,0739T+7,7160}$	0,9996	$t = e^{-0,0739T+8,2434}$	0,9996
Apariencia Espárrago	$t = e^{-0,0843T+7,1895}$	0,9996	$t = e^{-0,0843T+7,7627}$	0,9996
Olor	$t = e^{-0,0946T+7,9587}$	0,9996	$t = e^{-0,0946T+8,5589}$	0,9996
Sabor	$t = e^{-0,0867T+7,5403}$	0,9996	$t = e^{-0,0867T+8,1266}$	0,9996
Textura Arroz	$t = e^{-0,0744T+7,1465}$	0,9996	$t = e^{-0,0744T+7,7073}$	0,9996
Textura Espárrago	$t = e^{-0,0864T+7,3278}$	0,9996	$t = e^{-0,0864T+7,9009}$	0,9996

Anexo 18 Factor Q_{10} atributos sensoriales

Tabla 42. Factor Q_{10} experimental de atributos sensoriales.

Atributo	Q_{10}		Q_{10}	
	Límite comercialización (5,5)		Límite comestibilidad (4,0)	
	25°C – 35°C	35°C – 45°C	25°C – 35°C	35°C – 45°C
Color Arroz	2,7	2,6	2,7	2,6
Color Espárrago	2,9	2,7	2,9	2,7
Apariencia Arroz	2,1	2,0	2,1	2,1
Apariencia Espárrago	2,4	2,3	2,4	2,3
Olor	2,7	2,6	2,7	2,5
Sabor	2,5	2,3	2,5	2,3
Textura Arroz	2,2	2,1	2,2	2,1
Textura Espárrago	2,5	2,3	2,5	2,3

Q_{10} calculado utilizando la ecuación (9).

Tabla 43. Factor Q_{10} de atributos sensoriales para 21°C.

Atributo	Q_{10}
Color Arroz	2,6
Color Espárrago	2,8
Apariencia Arroz	2,1
Apariencia Espárrago	2,3
Olor	2,6
Sabor	2,4
Textura Arroz	2,1
Textura Espárrago	2,4

Q_{10} calculado utilizando pendiente del modelo, ecuación (12).