



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Unidad Iztapalapa**

**División de Ciencias Biológicas y de la Salud
Departamento de Biotecnología**

**COMPARACIÓN DE MÉTODOS
PROBABILÍSTICOS EN LA VIDA SENSORIAL ÚTIL DE
PRODUCTOS ALIMENTICIOS**

T E S I S

Para obtener el grado de
MAESTRA EN BIOTECNOLOGÍA

P R E S E N T A:

Q. A. ARACELI ARELLANO COVARRUBIAS

Director: Dr. Héctor Bernardo Escalona Buendía

Asesor: Dr. Gabriel Núñez Antonio

MÉXICO, D.F.

2016



Casa abierta al tiempo

Ciudad de México a 21 de Noviembre de 2016

El jurado asignado por la División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Unidad Iztapalapa aprobó la tesis de Maestría:

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Que presentó:

Q.A. Araceli Arellano Covarrubias

Comité Tutorial:

Director: Dr. Héctor Bernardo Escalona Buendía

Asesor: Dr. Gabriel Núñez Antonio

Jurado:

Presidenta: Dra. Elsa Bosquez Molina

Secretario: Dr. Gabriel Núñez Antonio

Vocal: Dra. Socorro Josefina Villanueva Rodríguez

Vocal: Dra. Isadora Martínez Arellano

La Maestría en Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana está incluida en el Programa Nacional de posgrado de calidad (PNPC) del CONACyT, con la referencia 001465.

Agradecimiento al CONACyT por la beca de maestría número 574751

DEDICATORIAS

A los 4 pilares que en cada paso que doy se encuentran a mi lado y que cada uno en su muy particular forma de ser han estado para apoyarme, regañarme, guiarme y motivarme a ser mejor persona cada día:

A mi mamá, por tus enseñanzas como persona, por el amor incondicional que me brindas en cada momento y por el apoyo que me das en cada uno de mis pasos. Gracias por las grandes y pequeñas cosas que has hecho y sigues haciendo por mí.

A mi papá, por enseñarme que debo ser perseverante para lograr mis objetivos, por estar pendiente de que nada me falte y por el amor que me demuestras en cada momento. Gracias por estar presente y apoyarme en cada momento de mi vida.

A mi hermana, porque sé que a pesar de las circunstancias y de nuestras pequeñas o grandes diferencias puedo contar tu apoyo, tus consejos y tu compañía. Gracias por ser la mejor hermana y amiga que pude haber pedido.

A mi hermano, por apoyarme y ayudarme en diversas situaciones, por compartir conmigo tantos buenos y malos momentos. Gracias, por hacer más llevadera mi vida una con tu peculiar forma de ser.

Este proyecto es principalmente gracias a ustedes.

Al Dr. Héctor Escalona, por el apoyo y dirección de este trabajo y por las enseñanzas a lo largo del mismo.

A mis compañeros de laboratorio, los cuales me ayudaron en la realización de la pruebas de éste proyecto y han hecho amena mi estancia en el laboratorio.

A mis amigos, que de alguna manera me han apoyado a lo largo de éste y otros proyectos.

ÍNDICE

Contenido	
1. Resumen	1
2. Abstract	3
3. Introducción	5
4. Antecedentes.....	5
4.1 Vida útil	6
4.2 Vida sensorial útil	8
4.3 CATA (Check-all-that-apply).....	9
4.4 RATA (Rate all-that-apply).....	10
4.5 Perfiles de deterioro	10
4.6 Diseño de almacenamiento básico	11
4.7 Diseño de almacenamiento reverso.....	11
4.8 Metodología Current Status o quantal-response data (Tiempos actuales).....	12
4.9 Survival Analysis (Análisis de supervivencia)	12
4.10 Modelos probabilísticos	13
4.11 Distribución weibull.....	13
4.12 Distribución lognormal	14
4.13 Distribución loglogística	15
4.14 Método de información de máxima verosimilitud (MLE).....	17
4.15 Criterio de Información Akaike (AIC).....	17
5. Justificación	18
6. Objetivos.....	18
6.1 Objetivo general	18
6.2 Objetivos particulares	18
7. Hipótesis.....	19
8. Metodología general	19
9. Nopal.....	21
9.1 Generación de descriptores de deterioro, respuesta de la variedad de nopal (Atlixco o Milpa Alta) e influencia del envase (domo y bolsa)	21
9.1.1 Prueba preliminar 1.....	22
9.1.2 Resultados Prueba preliminar 1	22
9.1.2.1 Generación de descriptores.....	22

9.1.2.2 Prueba hedónica	22
9.1.2.3 Prueba de Tukey	23
9.1.3 Prueba preliminar 2.....	24
9.1.4 Resultados Prueba preliminar 2	26
9.1.4.1 Generación de descriptores.....	26
9.1.4.2 Prueba hedónica	27
9.1.4.3 Prueba de aceptación.....	30
9.1.4.4 Perfiles de deterioro por tiempo de almacenamiento	32
9.1.4.4.1 Olor	33
9.1.4.4.2 Visual	35
9.1.4.5 Análisis de componentes principales (ACP)	42
9.1.5 Análisis de resultados de las pruebas preliminares 1 y 2. Nopal	45
9.2 Prueba final de Nopal	47
9.2.1 Diseño de la prueba	47
9.2.2 Metodología	48
9.2.3 Resultados. Prueba de nopal	53
9.2.3.1 Prueba hedónica	53
9.2.3.1.1 Prueba de Tukey para nivel de agrado del nopal almacenado con atmósfera modificada.....	53
9.2.3.1.2 Prueba de Tukey para nivel de agrado del nopal en el día 4 de almacenamiento	55
9.2.3.1.3 Prueba de Tukey para nivel de agrado del nopal en el día 7 de almacenamiento	55
9.2.3.2 Prueba de aceptación.....	56
9.2.3.3 Ajuste de datos de supervivencia (Estimador Kaplan-Meier). Censura por izquierda y censura por derecha	58
9.2.3.4 Comparación de métodos probabilísticos	60
9.2.3.4.1 Ajuste de los modelos	60
9.2.3.4.2 Vida media	60
9.2.3.4.3 Validación de los modelos por medio de gráficos basados en la función de supervivencia.....	61
9.2.3.4.4 Comparación mediante el criterio de información de Akaike (AIC)	63
9.2.3.4.5 Pruebas de bondad de ajuste de los datos.....	63
9.2.3.5 Perfil de deterioro	65

9.2.3.5.1 Perfiles de deterioro de los datos conjuntos de controles y día 4 y 7 de atmósfera modificada.....	68
9.2.3.5.2 Análisis de componentes principales de controles y días 4 y 7 de atmósfera modificada.....	70
9.2.3.5.3 Análisis de componentes principales de nopal almacenado con atmósfera modificada.....	71
9.2.3.5.4 Análisis de componentes principales de nopal almacenado con atmósfera modificada de atributos con diferencia significativa y nivel de agrado	72
10. Amaranto	76
10.1 Generación de descriptores de deterioro	76
10.1.1 Media geométrica	76
10.2 Diseño de pruebas.....	77
10.3 Metodología.....	78
10.4 Resultados. Pruebas de amaranto.....	79
10.4.1 Prueba hedónica.....	80
a. Temperatura ambiente	80
b. Cámara ambiental	81
10.4.2 Prueba de aceptación.....	82
a. Temperatura ambiente	82
b. Cámara ambiental	83
10.4.3 Ajuste de datos de supervivencia (Estimador Kaplan-Meier). Censura por izquierda y censura por derecha.....	84
a. Temperatura ambiente	85
b. Cámara ambiental	86
10.4.4 Comparación de métodos probabilísticos	87
10.4.4.1 Ajuste de los modelos	87
a. Temperatura ambiente	87
a. Cámara ambiental	87
10.4.4.2 Vida media.....	88
a. Temperatura ambiente	88
b. Cámara ambiental	88
10.4.4.3 Comparación mediante el criterio de información de Akaike (AIC).....	89
a. Temperatura ambiente	89
b. Cámara ambiental	89

10.4.5 Perfil de deterioro.....	90
a. Temperatura ambiente	90
b. Cámara ambiental	92
10.4.5.1 Análisis de componentes principales de los datos conjuntos del amaranto almacenado a temperatura ambiente y en cámara ambiental	96
a. Análisis de componentes principales del amaranto almacenado a temperatura ambiente	97
b. Análisis de componentes principales del amaranto almacenado en cámara ambiental	100
10.4.5.2 Atributos de deterioro del amaranto.....	103
10.5 Prueba visual final de amaranto	105
11. Discusión.....	107
11.1 Nopal.....	107
11.2 Amaranto	114
12. Conclusiones	120
13. Bibliografía	122
14. ANEXOS.....	130

1. Resumen

Los atributos sensoriales son determinantes para estimar la vida útil de alimentos y bebidas. A pesar de que las evaluaciones de un panel pueden proveer información sobre los descriptores relacionados con el deterioro; la tasa de rechazo de los consumidores debe ser estimada con el fin de asegurar una adecuada fecha de consumo, antes del deterioro, en los productos alimenticios comercializados. Para modelar estos datos, el análisis de supervivencia se ha aplicado mediante el uso de diversos modelos probabilísticos.

El objetivo del presente estudio fue comparar 3 diferentes y muy conocidos métodos probabilísticos: weibull, lognormal y loglogístico, y determinar cuál de ellos permite una mejor estimación de la vida útil sensorial entre productos. Para este propósito se eligieron como casos de estudio 2 productos: Nopal y amaranto. El nopal posee un tiempo de vida útil muy corto, mientras que el amaranto presenta un tiempo de vida muy prolongado, así también se evaluó si los métodos probabilísticos pueden ser utilizados a productos con tiempos de vida útil diferentes. Se utilizó un diseño de pruebas current status data (tiempos actuales), en el que un sólo consumidor evalúa una muestra diferente en un distinto tiempo de almacenamiento. Los consumidores evaluaron el nivel global de nivel de agrado, y se les preguntó si normalmente aceptarían/consumirían la muestra en función de sus atributos visuales y de olor, para el nopal, y visuales, olor y sabor, para el amaranto.

Los resultados del nopal mostraron que entre los 3 modelos, el lognormal obtuvo mayor valor de verosimilitud y menor valor de Criterio de Información Akaike (AIC), brindando un mejor ajuste de los datos; sin embargo, ninguno de los 3 modelos probabilísticos se ajustó a los datos cuando una validación fue desarrollada. El promedio de los valores globales del nivel de agrado disminuyó con el tiempo de almacenamiento, y fueron respectivamente: 7, 5.1, 4.8, 3.9, 3.7 y 1.8 para una escala hedónica de 9 puntos. Asimismo, el porcentaje de rechazo se incrementó en cada tiempo de almacenamiento: 0, 53.33, 66.66, 80, 80.33 y 100%. Los análisis de varianza (ANOVA), ($\alpha=0.1$) para los perfiles de olor y visual mostraron

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

una larga cantidad de descriptores que pudieron discriminar el producto a lo largo del tiempo, por lo que resultaron ser buenos indicadores del deterioro. Solamente “presencia de agua” para el perfil visual y “sintético” y “aceite de oliva” para el perfil aromático, no lograron discriminar a través del tiempo de almacenamiento.

Para el amaranto, se realizaron 2 pruebas, una con almacenamiento a temperatura ambiente simulando un almacenamiento normal en el hogar (20-25°C) y otra con almacenamiento en cámara ambiental a 50°C de temperatura y 40% de humedad. Los resultados de las pruebas almacenadas a temperatura ambiente mostraron un mejor ajuste de los datos con la distribución lognormal, mientras que los almacenados en cámara ambiental mostraron un mejor ajuste con la distribución weibull; sin embargo, los valores de AIC y verosimilitud son muy cercanos entre sí. Estos resultados no son concluyentes debido a que el porcentaje de rechazo de los consumidores no alcanzó el 50%, por lo que el ajuste de las distribuciones no otorga resultados confiables.

El nivel de agrado promedio para el almacenamiento a temperatura ambiente decreció conforme pasó el tiempo, mientras que para el almacenamiento en cámara ambiental, los promedios se mantuvieron constantes durante todos los días de prueba (entre 6-7) para una escala hedónica de 9 puntos. Los ANOVAS de los perfiles de aroma, visual y sabor muestran una gran cantidad de atributos que discriminaron durante el tiempo de almacenamiento para ambos tratamientos. Mediante los análisis de componentes principales, los atributos “crujiente”, “dulce”, “fresco”, “amarillo”, “tostado” (frescura) y “granos aglomerados” y “pegajoso” (deterioro), se detectaron como indicadores del deterioro a lo largo del tiempo de almacenamiento.

Los resultados sugieren que la distribución lognormal puede ser mejor que la weibull o la logística; sin embargo, se necesitan realizar otros estudios con condiciones más específicas (tiempos de almacenamiento intermedios; mayor cantidad de consumidores, para el caso del nopal), los cuales proporcionarían elucidación de cuál método permite un mejor ajuste de los datos, y éste a su vez una mejor estimación de la vida útil.

2. Abstract

Sensory attributes are determinant on shelf life of foods and beverages. Even though panel evaluation can provide information over descriptors related to spoilage; the rate of consumer rejection has to be estimated in order to assure an adequate “best before date” on commercial foodstuffs. Survival analysis has been used to model this data using diverse probabilistic models.

The objective of this study was to compare 3 different and known probabilistic methods: Weibull, Lognormal and Loglogistic, in order to understand which one enables a better estimation of sensory shelf life between products. For this purpose, tender cactus and amaranth were chosen, tender cactus has a short shelf-life while amaranth has a long shelf-life; therefore, we also evaluated the application of probabilistic methods to products with different shelf-life. The storage design was current status data, were only one consumer evaluated one different sample with different storage time. Consumers evaluated the global liking and they were asked if they would normally consume the product on the basis of their visual and aroma attributes (tender cactus), and visual, aroma and flavor (amaranth).

Comparison of the probabilistic methods on tender cactus showed that lognormal distribution had a greater likelihood value and a lower Akaike Information Criterion value resulting on a better fit of the data; although, none of the models completely adjusted the data when a validation is performed. Mean overall liking ratings decrease across storage time, and were, respectively: 7, 5.1, 54.8, 3.9, 3.7 and 1.8 for a 9-point hedonic scale. Percentage of rejection increased on each storage time: 0, 53.33, 66.66, 80, 80.33 and 100%. ANOVAS ($\alpha=0.1$) for visual and aroma profile showed a large amount of attributes that could discriminated across the time and turned to be good spoilage attributes. “Presence of water” for visual profile and “synthetic” and “olive oil” for aroma profile could not discriminate through storage time.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Regarding amaranth, two different treatments were carried out: one with storage at room temperature simulating conventional conditions at home (20- 25°C), and a second one with storage in an environmental chamber that controlled temperature at 50°C and 40 % relative humidity. Results of samples stored at room temperature showed a better fit for lognormal distribution, while data from samples of the environmental chamber had a better fitness with Weibull distribution. However, AIC and likelihood were very close between them. These results are not concluding as the rejection percentage did not reach 50 % or above; therefore, the fitness for the three distributions do not provide trustable results.

The average level of liking for samples store at room temperature decreased along time, while for samples from the chamber kept constant (around 6-7 for a 9 point hedonic scale) during storage time. Analyses of Variances of the visual, aroma and flavor properties showed that many of them can discriminate along storage time for both treatments. By means of Principal Component Analysis, the attributes “crunchy”, “sweet”, “fresh”, “yellow”, “toasted” (freshness), and “agglomerated grains” and “sticky” (deterioration), were detected as deterioration indicators along storing time.

Overall results suggests that lognormal distribution could be a better alternative than Weibull or log-logistic; however, more studies are needed with more specific conditions (more intermediate sampling times and higher number of consumers tested, both for the case of tender cactus), from which it will enable a better elucidation of which method enables a better fit of acceptance/rejection data and, then, a better estimation of the sensory shelf life.

3. Introducción

La evaluación sensorial es una ciencia multidisciplinaria que consiste en la medición, análisis, interpretación y entendimiento de las respuestas humanas a las propiedades físicas y químicas de un producto a través del uso de los sentidos (Martens, 1999). La percepción del hombre ante un estímulo puede manifestarse en tres categorías importantes: cuantitativo (intensidad y duración de un estímulo), cualitativo (naturaleza del estímulo) y hedónico (sensaciones que acompañan la percepción). Se basa en la evaluación mediante la aplicación de 2 tipos de metodologías: analíticas y afectivas. En las metodologías analíticas se trabaja con individuos seleccionados y entrenados (panel sensorial), los cuales evalúan objetivamente las características sensoriales de los productos, mientras que en las metodologías afectivas se trabaja con consumidores del producto en estudio, los cuales evalúan un producto en función de su percepción y de acuerdo a sus propios criterios (Urdapilleta, 2001).

Dentro de los estudios con consumidores (metodologías afectivas), los estímulos pueden evocar sensaciones tanto placenteras como desagradables, así entonces, las sensaciones están marcadas por sentimientos de placer y desagrado o indiferencia (aceptación o rechazo). Estas mediciones en particular, han sido objeto de estudio y han tenido una amplia variedad de aplicaciones en la evaluación sensorial, entre ellas se encuentra el desarrollo de un producto nuevo, reformulaciones, control del proceso de elaboración, control de calidad, influencia del almacenamiento, mercadotecnia, sensación experimentada por el consumidor, y además de medir la aceptación de un producto, la evaluación sensorial permite también medir el tiempo de vida útil de un producto alimenticio.

4. Antecedentes

Con los avances tecnológicos en el procesamiento de alimentos, la vida útil de los mismos, no siempre se define con base en un riesgo a la salud (aspecto sanitario), sino por el rechazo que los consumidores evocan desde el punto de vista

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

sensorial, ya que los atributos de deterioro pueden aparecer mucho tiempo antes de que un producto se considere nocivo.

La calidad sanitaria de los alimentos se ha visto delimitada a la evaluación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos; sin embargo la percepción sensorial, a pesar de los avances tecnológicos, no se ha podido reemplazar con algún tipo de instrumentación, por lo que sería un gran riesgo económico y de prestigio de una empresa no tomar en cuenta el aspecto sensorial, y aumentaría la probabilidad de que el producto sea rechazado por parte de los consumidores debido a efectos sensoriales que no pueden ser detectados por los instrumentos a lo largo de la vida de un producto alimenticio.

4.1 Vida útil

La vida útil de un alimento es el periodo en que un producto se vuelve inaceptable desde puntos de vista sensorial, nutricional o de seguridad. Ellis (1994) definió la vida útil de un producto como el tiempo entre la producción y empaqueo del producto hasta el punto en el que éste se vuelve inaceptable bajo condiciones ambientales definidas.

Por otro lado, el IFST (Institute of Food Science Technology) Guidelines (1993) define la vida útil como el tiempo en el que un producto: a) es seguro en su consumo; b) conserva características sensoriales, químicas, físicas y microbiológicas deseadas; y c) cumple con las declaraciones en la etiqueta de información nutricional, cuando se almacena bajo las condiciones recomendadas. Ésta última definición identifica los factores clave que deben considerarse cuando se evalúa la vida útil de un producto y algunos de ellos son evaluados sin la presencia del consumidor. Por ejemplo, cuando se declara un alimento como seguro, éste debería estar libre de bacterias patógenas lo cual es evaluado por análisis microbiológicos estándar. Otro ejemplo de esto es la leche enriquecida con vitamina D que debe cumplir con una cierta concentración, la cual es medida en un laboratorio de análisis.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Algunas de las variables que deben ser consideradas cuando se trata de la vida útil son las siguientes: la naturaleza del alimento, su composición, los ingredientes, el proceso de elaboración, el empaque para su protección, así como el material y el diseño empleado en su manufactura, condiciones de almacenamiento, distribución y manipulación (tanto por los minoristas como por el consumidor). Es bien conocido que estos factores pueden tener una influencia negativa en la calidad de los atributos de un producto alimenticio. No hay ninguna duda que el aspecto más importante que necesita ser garantizado durante la vida de anaquel es la inocuidad. Ninguna compañía de alimentos puede permitir que sus consumidores se enfermen por consumir productos contaminados con microorganismos patógenos o alguna sustancia tóxica desarrollada durante el almacenamiento prolongado. Este es el primer paso, asegurar a los consumidores que no exista ningún daño por ingerir algún alimento durante su vida de anaquel establecida (Hough, 2005).

Se ha observado que en los pasillos de las secciones de alimentos de supermercados, éstos pueden ser clasificados de acuerdo a su vida de anaquel y ésta está determinada tanto por sus características sensoriales, microbiológicas o nutricionales.

- *Propiedades sensoriales:* bebidas alcohólicas (cerveza, vino, sidra, whisky, etc), bebidas carbonatadas, jugos de frutas, bebidas energéticas, agua, bebidas concentradas (líquidos o polvos), leche, leche saborizada, yogurt, mantequilla, margarina, queso procesado, endulzantes artificiales, café, chocolate, té, jamón, cereales, pastas, harinas, legumbres, mayonesas, catsup, mostaza, dulces, gelatinas, productos enlatados, sopas, productos congelados, pan, pasteles, productos cárnicos curados, vegetales frescos y frutas frescas.
- *Propiedades microbiológicas:* leche pasteurizada, quesos frescos, huevos, productos cárnicos cocidos, carnes frescas y productos de pasta fresca.
- *Propiedades nutricionales:* fórmulas para bebés.

Esto puede variar en distintos supermercados sin embargo el número de los productos que dependen de la vida de anaquel, son mayores a los que dependen de una parte microbiológica y/o nutricional. Por otro lado, cuando se habla de la vida útil de los alimentos, en la gran mayoría de los casos, se está haciendo referencia a la vida sensorial útil.

4.2 Vida sensorial útil

El ASTM E2454 define la vida sensorial útil como: el periodo de tiempo durante el cual las características sensoriales y el rendimiento del producto son las dispuestas por el fabricante. El producto es consumible o utilizable durante este periodo, proporcionando al consumidor final las características sensoriales, rendimiento y beneficios deseados. En las definiciones de la vida útil, los límites de las propiedades sensoriales se refieren exclusivamente a la aceptabilidad/rechazo del producto, sin embargo, estos límites pueden ser muy ambiguos si no se ha investigado a fondo.

El ASTM E2454 brinda 3 posibles criterios para definir el punto final de la vida útil de un producto: 1) cambios en el perfil sensorial global; 2) atributo que es conocido o se sospecha que es clave para que los consumidores perciban que el producto ha cambiado; 3) los consumidores consideran que el producto ya no es aceptable.

Cuando se considera que las características sensoriales óptimas de un producto ya han desaparecido o que un producto no es apto para el consumo, es decir, ya no es "utilizable", se habla de la vida sensorial útil de un producto. La determinación de la vida sensorial final depende en gran medida del método de prueba empleado. Los 3 métodos de prueba más utilizados son: 1) discriminación; 2) descriptivo; y 3) afectiva; por lo que los investigadores deben tomar en cuenta los criterios y los diferentes métodos que puedan adaptarse a la medición de los atributos de un producto determinado.

4.3 CATA (Check-all-that-apply)

La metodología CATA es una de las herramientas más potentes y utilizadas en la evaluación sensorial, ya que permite caracterizar sensorialmente los productos alimenticios, su uso se ha incrementado para la captura de las percepciones sensoriales en consumidores (Varela, 2014).

Esta metodología permite obtener perfiles sensoriales globales del producto (incluido el perfil de deterioro), y se basa en describir un producto mediante la selección de una serie de atributos en formato de listado, dichos atributos pueden incluir:

- ✓ Características sensoriales: apariencia, aroma, sabor, textura
- ✓ Términos hedónicos (rico, desagradable)
- ✓ Características no sensoriales (es producto de calidad, es de la marca X)
- ✓ Términos relativos a conceptos (es producto para toda la familia)
- ✓ Términos relativos a ocasiones de uso (es producto para consumir en la cena)

El desarrollo de la metodología se da de la siguiente manera: A los consumidores se les presenta un producto para ser evaluado (alimenticio o bebida) y una lista de términos para caracterizarlo. Su objetivo es elegir TODOS los términos que consideren apropiados. La relevancia de cada opción es determinada al calcular su frecuencia de uso.

La simplicidad de la prueba CATA conlleva una limitación muy grande, ya que el formato de la prueba no permite una medida directa de la intensidad de los atributos evaluados (Ares, 2014). Es así que en los últimos años, se introdujo una modificación a esta prueba la cual elimina dichas limitaciones: la prueba RATA.

4.4 RATA (Rate all-that-apply)

Esta modificación fue recomendada por Ng, Chaya, y Hort (2013) para aumentar la capacidad de discriminación y de descripción de la escala CATA al medir la respuesta emocional de los consumidores hacia los productos alimenticios, con el fin de involucrar a los participantes en un mayor proceso cognitivo (Ares, 2014).

La modificación de la escala CATA consiste en agregar una escala de intensidad para cada uno de los atributos evaluados, por lo que al evaluar la intensidad conjunta con los atributos presentes se obtendrán respuestas más completas y se podrán caracterizar los productos alimenticios. Esta metodología provee una mayor utilidad cuando se evalúan productos y los respectivos cambios en sus atributos en diferentes tiempos de almacenamiento.

4.5 Perfiles de deterioro

Debido a que los defectos sensoriales son normalmente los primeros en aparecer en un producto almacenado, el estudio de los perfiles de deterioro de los productos es de gran importancia en los estudios de vida útil.

La medición de los cambios de los atributos a lo largo del tiempo de almacenamiento sirve como base para estimar la vida sensorial útil de un producto, lo cual puede utilizarse en distintos ámbitos como son el desarrollo de una nueva tecnología, el procesamiento, ingredientes, embalaje, y así, prolongar la vida útil del producto. Estos cambios en los atributos de un producto a lo largo del tiempo, pueden evaluarse aplicando distintas metodologías de almacenamiento.

4.6 Diseño de almacenamiento básico

Es el diseño más simple y común para la realización de un experimento de vida útil, el cual consiste en el almacenamiento de un solo lote grande de un producto bajo condiciones normales y aplicarle pruebas a distintos tiempos de almacenamiento (Giménez, A., 2012). En este tipo de diseño se debe contar con un mismo grupo de consumidores durante todo el experimento ya que se considera que las mismas personas evalúan el producto en los distintos tiempos de almacenamiento. Este diseño ha sido utilizado en la estimación de vida útil de un amplio intervalo de productos alimenticios, entre los que destacan la mayonesa, chocolate, peras, lechuga, etc.

Este método es el que más se ha utilizado en la industria de alimentos, sin embargo, no es la metodología más eficiente ya que cuenta con ciertas desventajas: si se aplica con consumidores, el uso de recursos se vuelve excesivo y el costo se incrementa considerablemente. Por otro lado, se ha visto que el consumidor es moldeable al tiempo en cuanto a gustos y preferencias por lo que el uso de este diseño presenta el alto riesgo de que el consumidor cambie su criterio en alguna de las evaluaciones, es así que se han desarrollado otras técnicas de almacenamiento que puedan minimizar estas desventajas, tales como el diseño de almacenamiento reverso y la metodología current status (tiempos actuales).

4.7 Diseño de almacenamiento reverso

El principio de este diseño es evaluar un conjunto de muestras con diferentes tiempos de almacenamiento, en una sola prueba. Este tipo de diseño se denomina diseño reverso y tiene las ventajas de evadir las principales desventajas del diseño básico. Las muestras con diferentes tiempos de almacenamiento se evalúan el mismo día, por lo que para el uso de este diseño es crucial tener lotes homogéneos a lo largo del tiempo (Giménez, A., 2012).

4.8 Metodología Current Status o quantal-response data (Tiempos actuales)

Una metodología alternativa, que evade las desventajas del método de almacenamiento básico y reverso, es el de Current Status, en el cual un solo consumidor evalúa una sola muestra correspondiente a un solo tiempo de almacenamiento (Hough, 2006). Así, se elimina el cambio de criterio del consumidor a lo largo del tiempo y cada prueba se vuelve sencilla; sin embargo, al igual que las 2 metodologías anteriores, este diseño presenta una desventaja: se necesita un gran número de consumidores para evaluar cada tiempo de almacenamiento.

4.9 Survival Analysis (Análisis de supervivencia)

Para estimar la vida sensorial útil basada en el rechazo de los consumidores hacia cierto producto, el análisis de supervivencia puede ser utilizado. El análisis de supervivencia es un conjunto de procedimientos estadísticos que se aplica al análisis del tiempo hasta que sucede un evento de interés, es usado ampliamente en estudios clínicos, epidemiológicos, biológicos, sociológicos y de confiabilidad. Cuando se aplica a estimaciones de vida útil sensorial, esta metodología se centra en el riesgo de rechazo hacia el producto por parte de los consumidores en vez del deterioro del producto en sí (Guerra, 2008).

Para la determinación de la vida sensorial útil de los alimentos se han utilizado gran diversidad de modelos probabilísticos, los cuales pretenden realizar predicciones mediante la distribución estadística de los datos provenientes de una muestra representativa.

4.10 Modelos probabilísticos

Las distribuciones probabilísticas han sido desarrolladas por estadísticos, matemáticos e ingenieros para modelar matemáticamente o representar un comportamiento en específico. Los métodos tradicionalmente utilizados en análisis de supervivencia, pueden dividirse en 3 grupos: paramétricos, no paramétricos y semiparamétricos (Solano, 2008). Algunas distribuciones, como la de weibull y la lognormal (modelos paramétricos), surgen del análisis de supervivencia, la cual es una rama de la estadística que ha sido ampliamente utilizada en estudios clínicos, epidemiológicos o biológicos. Dichos modelos consisten en procedimientos estadísticos para analizar aquellos tipos de datos que incluyen al tiempo entre 2 sucesos como variable de respuesta.

Los modelos weibull y la log-normal tienden a representar mejor los datos de vida y son comúnmente llamados “distribuciones de tiempo de vida” o “distribuciones de vida”. De hecho, el análisis de datos de vida es frecuentemente llamado “análisis de weibull” ya que la distribución weibull es muy popular para el análisis de estos datos. Otras distribuciones muy usadas son la exponencial, lognormal, y distribuciones normales. El analista debe elegir la distribución que sea más apropiada al modelo en particular y al conjunto de datos.

4.11 Distribución weibull

Fue desarrollada inicialmente por Walodi Weibull en 1951, pero no fue hasta 1984 cuando Gacula y Singh introdujeron el modelo de weibull, derivado del análisis de supervivencia en estudios de vida útil de alimentos. Es quizás la **técnica más utilizada** para modelar la distribución del tiempo de vida, y ha sido utilizada en una gran variedad de productos alimenticios como lechuga (Araneda, 2008), café (Guerra, 2008; Cardelli, 2001), productos cárnicos (Hough, 2006), y yogurt (Cruz, 2010; Hough, 2002) entre otros.

Por medio de este análisis se pretende realizar predicciones acerca de la vida de los productos mediante una distribución estadística de los datos provenientes de una muestra representativa. La distribución parametrizada para el conjunto de datos se puede utilizar para estimar las características importantes de la vida del producto, como la fiabilidad o probabilidad de fallo en un momento específico, la vida media y a tasa de fracaso/rechazo. El análisis de datos requiere: recopilación de los datos de la vida del producto, selección de una distribución del tiempo de vida que se ajuste a los datos y modelar la vida del producto, estimar los parámetros que se ajusten a la distribución de los datos, generar diagramas y los resultados que estiman las características de la vida del producto, tales como fiabilidad o vida promedio (Solano, 2008). El término “datos de vida” se refiere a las mediciones de la vida del producto, la cual puede medirse en horas, millas, ciclos, o cualquier otra métrica que se aplique.

La distribución weibull presenta una función de supervivencia caracterizada por dos constantes: el parámetro de forma (λ) y el parámetro de escala (v) (Guerra, 2008).

$$S(t; \lambda, v) = \exp\left[\left(-\frac{t}{\lambda}\right)^v\right]$$

4.12 Distribución lognormal

Es una distribución de probabilidad de una variable aleatoria cuyo logaritmo está distribuido de forma normal. Tiene 2 similitudes importantes con la distribución normal:

- Razonamiento matemático para la construcción de los gráficos de probabilidad
- Sesgo de la estimación de los parámetros

A pesar de las similitudes con la distribución normal, una de las ventajas de utilizar la distribución Log-normal es que esta última, sólo considera valores positivos, lo

que facilita la aplicación del modelo; además al tratarse de una escala logarítmica, los parámetros de las distintas funciones son manejados en esta escala. La distribución lognormal se relaciona con la normal ya que si T sigue una distribución lognormal, su logaritmo sigue una distribución normal. O si T tiene una distribución normal, $Y=\exp(T)$ sigue una distribución lognormal.

Esta distribución ha sido principalmente aplicada al ajuste de ciertos tipos de fallos, tales como la vida de aislamientos eléctricos, la fatiga de componentes metálicos y en geología para la explotación de yacimientos (Solano, 2008). La función de supervivencia toma la siguiente expresión:

$$S(t) = 1 - \phi\left(\frac{\log t - \mu}{\sigma}\right)$$

Donde μ es el parámetro de escala, σ es el parámetro de forma, y ϕ es la función de densidad de una normal.

4.13 Distribución loglogística

Proporciona modelos para tiempos de vida que no tienen función de riesgo continua (al igual que la log-normal). Esta distribución sólo considera valores positivos y los parámetros de las distintas funciones son manejados en escala logarítmica. Las funciones de riesgo son similares, sin embargo la de la log-logística es mucho más manejable (Bautista, 2011).

La función de supervivencia loglogística es la siguiente, donde λ es el parámetro de escala, α es el parámetro de forma:

$$S(t) = \frac{1}{1 + \lambda(t)\alpha}$$

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Los 3 métodos probabilísticos observados poseen gráficos de distribución similares, esto se debe a que al incrementarse el tiempo de almacenamiento, el porcentaje de rechazo también será mayor.

En el cuadro 1 se muestran estudios recientes para la determinación de vida sensorial útil en distintos productos alimenticios. El modelo probabilístico más utilizado es la distribución weibull, sin embargo la log-normal y la log-logística también se usan ampliamente.

A pesar de que se han utilizado ampliamente diversas distribuciones aplicadas a los datos de vida útil, la literatura no muestra el ajuste de los mismos con las distribuciones, por lo que metodologías para la correcta selección de un modelo deben ser desarrolladas.

Cuadro 1. Aplicaciones de modelos probabilísticos en determinación de la vida sensorial útil

Referencia	Producto evaluado	Distribuciones aplicadas	Distribución elegida
Araneda (2008)	Lechuga	Normal, logística, weibull, lognormal, loglogística	Weibull
Guerra (2008)	Café	Logística, weibull	Weibull
Phimolsiripol (2009)	Masa de pan congelada	Logística, weibull	-----
Duyvesteyn (2001)	Leche	Weibull, normal, lognormal	Weibull
Cardelli (2001)	Café tostado y molido	Weibull	-----
Hough (2006)	Carne de res	Lognormal, weibull	-----
Cruz (2010)	Yogurt	Weibull, lognormal, exponencial	Weibull
Hough (2002)	Yogurt	Logística, loglogística, weibull, normal, lognormal	Lognormal weibull

4.14 Método de información de máxima verosimilitud (MLE)

El objetivo de este método es estimar los coeficientes de un modelo de regresión o estimar los parámetros de una distribución de probabilidad. A grandes rasgos, la verosimilitud de un conjunto de datos es la probabilidad de obtener dichos datos dado el modelo estadístico elegido. Esta expresión contiene a los parámetros desconocidos, y por lo tanto, aquellos valores de los parámetros que maximizan la verosimilitud es conocida como la máxima verosimilitud. Usualmente se utilizan métodos iterativos para la obtención de dichos parámetros como lo es el método de Newton-Raphson (Borges, 2005). El método proporciona estimadores consistentes y normalmente distribuidos en muestras grandes.

4.15 Criterio de Información Akaike (AIC)

El AIC de un modelo estadístico nos brinda la calidad relativa del mismo, para un conjunto de datos y proporciona un medio para la selección del modelo. El AIC proporciona una estimación relativa de la información perdida cuando se aplica a un modelo determinado; sin embargo, el criterio no dará aviso si todos los modelos analizados encajan mal.

El criterio de información Akaike es: $AIC = 2k - 2 \ln(L)$ donde,

K= número de parámetros desconocidos

L= máximo valor de la función de verosimilitud del modelo estimado

Entre un conjunto de modelos probabilísticos, el preferido es el que tiene el valor mínimo de AIC, y por lo tanto el que disminuirá la pérdida de información, por lo tanto, este criterio incluye una penalidad, que es una función creciente del número de parámetros estimados (Burnham, 2004).

5. Justificación

La evaluación sensorial se ha convertido en un factor clave para determinar la vida de anaquel, pues aunque en muchos alimentos se garantiza su inocuidad y son seguros para su consumo, pueden ser rechazados debido a cambios sensoriales. En cuanto a los fabricantes, éstos deben cumplir con las regulaciones de alimentos y con estándares de calidad, por lo que son necesarios métodos prácticos y confiables para estimar la vida de almacenamiento de los productos alimenticios.

Dentro de los métodos probabilísticos aplicados en determinados productos, la metodología que más se elige es la weibull, debido a que el manejo de los datos es sencillo y a que ha sido utilizada desde hace mucho tiempo en la determinación de la vida sensorial útil. Sin embargo, se necesitan realizar comparaciones de ajuste en los distintos modelos, para lograr determinar el modelo que tenga una mejor predicción y por lo tanto la obtención de una metodología general adecuada que pueda aplicarse a una mayor variedad de productos con alta confiabilidad en la determinación de vida sensorial útil.

6. Objetivos

6.1 Objetivo general

Realizar una comparación metodológica del ajuste de modelos probabilísticos (weibull, lognormal, loglogístico) utilizados en la determinación de vida de anaquel de nopal y amaranto.

6.2 Objetivos particulares

- Evaluar la aceptación de productos alimenticios a diversos tiempos a partir de la fecha de elaboración

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

- Aplicar 3 métodos probabilísticos utilizados en la determinación de vida sensorial útil en los productos evaluados
- Comparar el ajuste de los modelos probabilísticos obtenidos en la determinación de la vida sensorial útil
- Aplicar la prueba RATA (Rate all-that-apply) con consumidores para la elaboración de perfiles de deterioro de productos alimenticios
- Establecer una metodología general basada en modelos probabilísticos y perfiles de deterioro para la determinación de la vida sensorial útil de los productos evaluados.

7. Hipótesis

- Con el uso de 3 métodos probabilísticos (weibull, log-normal y log-logística) se desarrollarán diferentes modelos, lo que permitirá obtener distintas determinaciones de vida útil aplicada a diversos productos alimenticios.
- Mediante el uso de la prueba RATA (Rate all-that-apply) se obtendrán perfiles de deterioro diferentes para cada uno de los productos a lo largo del tiempo de almacenamiento, y se podrán identificar los atributos indicadores que más influyen en el deterioro de los productos.
- El método de weibull producirá mejores resultados en el ajuste de distribuciones para todos los productos evaluados, y por lo tanto una mejor predicción de la vida sensorial útil de los productos alimenticios.

8. Metodología general

El desarrollo de este proyecto se divide en 2 productos: nopal y amaranto. Para cada producto se realizaron pruebas preliminares al diseño final para generar descriptores de deterioro característicos del producto. Para el nopal se realizaron pruebas adicionales para elección de variedad y envase a utilizar.

Los diagramas siguientes muestran la metodología general de las pruebas realizadas dividiéndose por producto: nopal y amaranto.

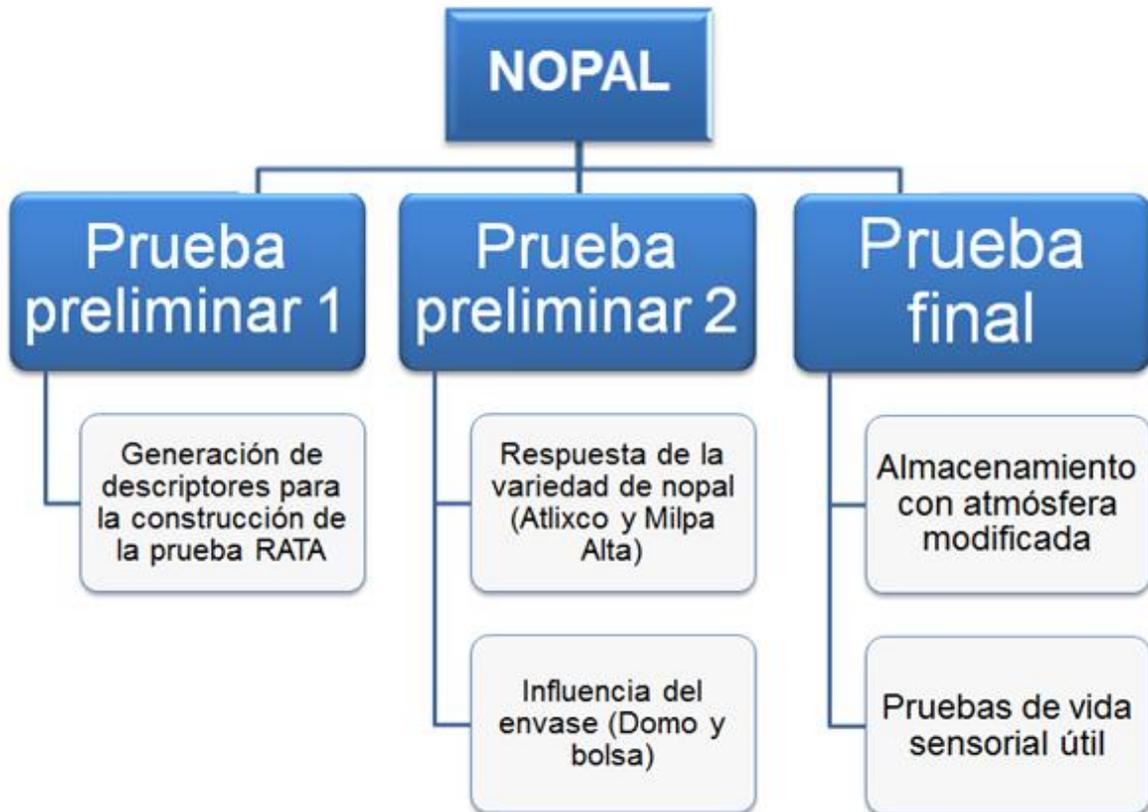


Figura 1. Metodología general de la evaluación de nopal



Figura 2. Metodología general de la evaluación de nopal

9. Nopal

9.1 Generación de descriptores de deterioro, respuesta de la variedad de nopal (Atlixco o Milpa Alta) e influencia del envase (domo y bolsa)



Figura 3. Nopal sin desespinar

9.1.1 Prueba preliminar 1

Se analizaron los resultados del experimento realizado por Vargas-Soriano (2015) en el laboratorio de biotecnología de frutas y hortalizas extrayendo los descriptores generados para la terminología de deterioro aplicada al nopal, y así, poder construir la prueba RATA (Rate all-that-apply).

Durante esta prueba se les pidió a 75 consumidores, dentro de UAM-Iztapalapa y afuera del supermercado Soriana, que evaluaran el producto (nopal de la variedad Atlixco envasado después del desespinado con una atmósfera modificada de Nitrógeno y almacenados en cámara de refrigeración a 4°C) con distintos tiempos de almacenamiento (1, 7, 15, 21 y 26 días) en la parte visual y olfativa, y anotaran todas las palabras que fueran adecuadas para describir el producto. El proceso era abrir el envase y posteriormente oler y observar las características del producto.

Se anexó una escala de 9 puntos para conocer el nivel de agrado que los consumidores tenían por el producto en cada tiempo de almacenamiento.

9.1.2 Resultados Prueba preliminar 1

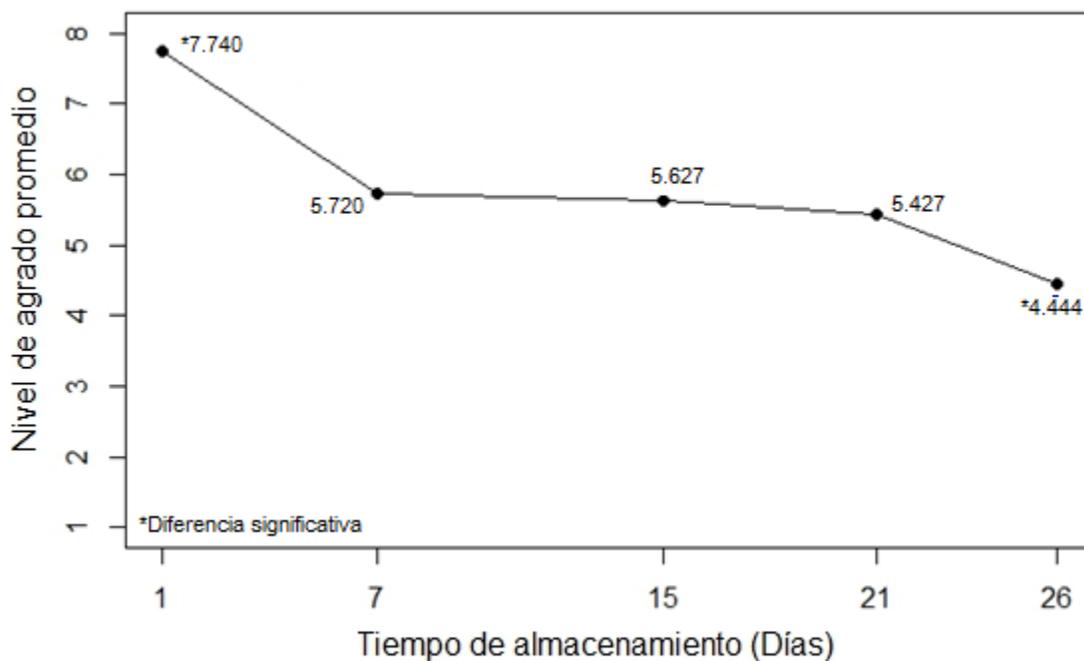
9.1.2.1 Generación de descriptores

A los atributos iniciales generados por los consumidores (ANEXO I), se les realizó una primera reducción de sinónimos, hedonísticos y cuantitativos, quedando sólo 39 atributos.

9.1.2.2 Prueba hedónica

Los resultados de la prueba hedónica de 9 puntos se muestran en la siguiente gráfica donde se observa que el nopal fresco presentó un promedio de alrededor de 7.5 colocándolo en la escala entre “Me gustó” y “Me gustó mucho”. Conforme

pasa el tiempo de almacenamiento el nivel de agrado por el producto disminuyó hasta el punto número 5 (Ni me gustó ni me disgustó), y se puede observar que al llegar a los 26 días de almacenamiento el nivel de agrado se ubicó cerca del punto 4 que corresponde al nivel de “Me disgustó un poco”. Cabe señalar que existió una disminución significativa del nivel de agrado entre la muestra fresca y la muestra almacenada a los 7 días lo que indica que los atributos sensoriales se deterioraron en gran medida en este lapso, y aún a los 21 días, el producto les es indiferente (ni les gusta ni les disgusta).



Gráfica 1. Nivel de agrado promedio de la prueba preliminar 1 de nopal

9.1.2.3 Prueba de Tukey

Se realizó la prueba de Tukey para la comparación de estos valores, donde se observa que existe diferencia significativa entre la muestra fresca y los demás tiempos de almacenamiento, así como en el último día de almacenamiento con los demás tiempos. Entre los días 7, 15 y 21 no existe diferencia significativa para el nivel de agrado.

Cuadro 2. Prueba de Tukey para nivel de agrado de prueba preliminar 1 de nopal

Tiempo (días)	N	Mean	Grouping
1	270	7.7407	A
15	75	5.720	B
21	75	5.627	B
7	75	5.427	B
26	45	4.444	C

9.1.3 Prueba preliminar 2

Para la construcción de la prueba RATA mediante la depuración de los descriptores generados anteriormente y para evaluar la respuesta de 2 variedades de nopal (Atlixco y Milpa Alta) y la influencia del envase a utilizar, se realizó una segunda prueba con 10 consumidores evaluando el producto (envasado sin tratamiento de atmósfera modificada y almacenado en cámara de refrigeración durante 14 días) en los días 1, 6, 11 y 14 (siendo 14 días, un tiempo mayor al tiempo de vida útil del producto en condiciones normales). La metodología es la siguiente:

1. Selección del nopal. Producto de tamaño uniforme y sin defectos como cortes, lesiones profundas o estructura encorvada.
2. Lavado, secado, y desespinado de las muestras.
3. Envasado. Se evaluaron 2 variedades diferentes de nopal, una proveniente de Atlixco y otra de Milpa Alta. Asimismo, se evaluaron 2 distintos envases (domo y bolsa), por lo que las evaluaciones se realizaron a 4 productos diferentes: Atlixco (domo), Atlixco (bolsa), Milpa Alta (domo) y Milpa Alta (bolsa). Las muestras de nopal fueron envasadas posteriormente del desespinado.



Figura 4. Nopal Atlixco envasado en bolsa



Figura 5. Nopal Atlixco envasado en domo

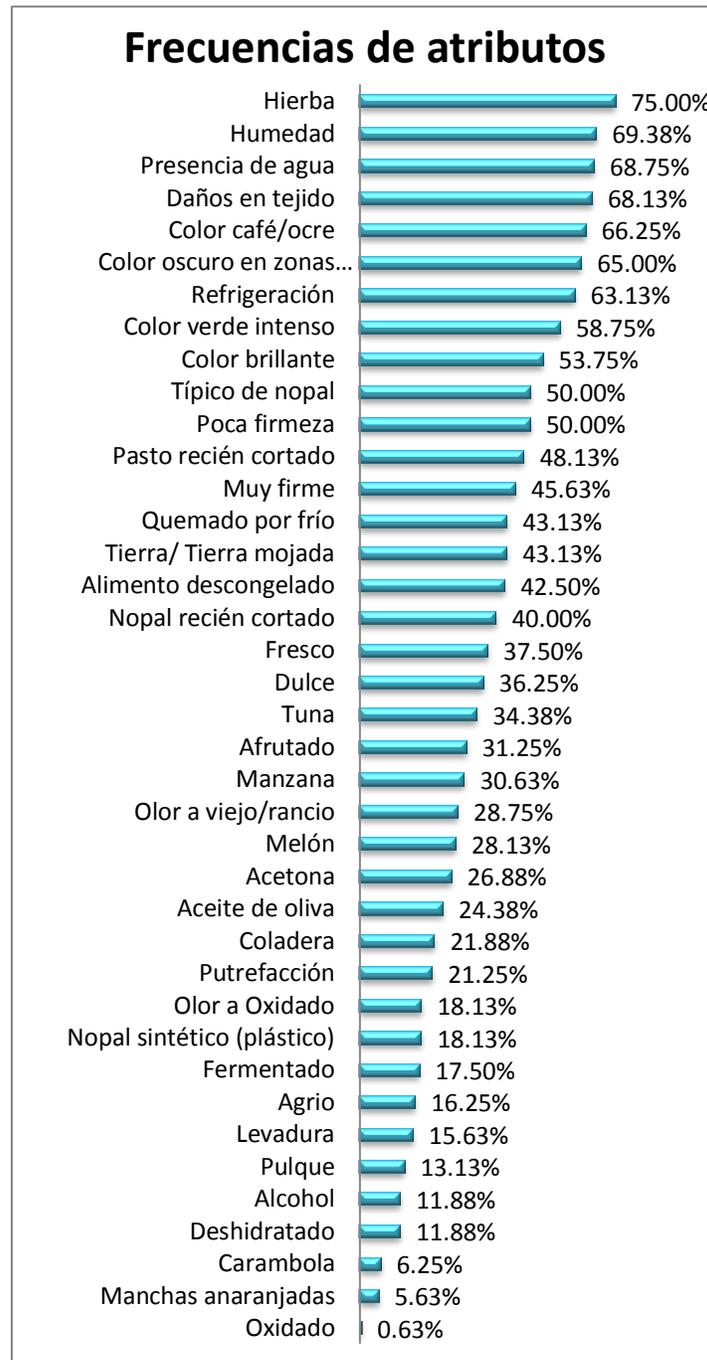
4. Almacenamiento en cámara de refrigeración a 4°C, durante 14 días.
5. Pruebas sensoriales. Se realizaron 4 muestreos: en los días 1, 6, 11, y 14 de almacenamiento. Las pruebas se aplicaron a 10 personas (las mismas personas evaluaron todos los productos durante los 4 tiempos de evaluación) dentro de las instalaciones de la UAM-Iztapalapa donde la evaluación se realizó de forma visual y olfatoria. El proceso de la prueba era abrir el envase y posteriormente oler y observar las características del producto.

A los encuestados se les aplicó una encuesta utilizando los descriptores generados durante la prueba preliminar 1 con el uso de una escala estructurada de 5 puntos (1-5: Nada, ligeramente, moderadamente, mucho y extremadamente) para evaluar la intensidad de cada atributo propuesto, además de la aplicación de una escala hedónica de 9 puntos para conocer el nivel de agrado que el consumidor tenía hacia el producto. La evaluación preliminar de Nopal se muestra en el ANEXO II.

9.1.4 Resultados Prueba preliminar 2

9.1.4.1 Generación de descriptores

En la siguiente gráfica se muestra el porcentaje de frecuencias de los 39 atributos aplicados durante la prueba preliminar 2.



Gráfica 2. Porcentaje de frecuencias de 39 atributos preliminares de la prueba de nopal

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

A los 39 atributos evaluados se les aplicó el cálculo de media geométrica (ISO 11035:1994), descartando los atributos que obtuvieron un porcentaje acumulado menor del 10% (Gráfica 3). Este método eliminó 9 atributos: Fermentado, agrio, levadura, pulque, alcohol, deshidratado, carambola, manchas anaranjadas, oxidado. Así, los análisis se basaron exclusivamente en los 30 atributos restantes.



Gráfica 3. Media geométrica-%Acumulado de la prueba de nopal

9.1.4.2 Prueba hedónica

Los resultados de la prueba hedónica de 9 puntos se muestran en la siguientes gráficas, para las cuales se tomaron en cuenta 4 productos: Atlixco-domo, Atlixco-

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

bolsa, Milpa Alta-domo y Milpa Alta bolsa. Los códigos utilizados tanto para tiempo de almacenamiento y productos son los siguientes:

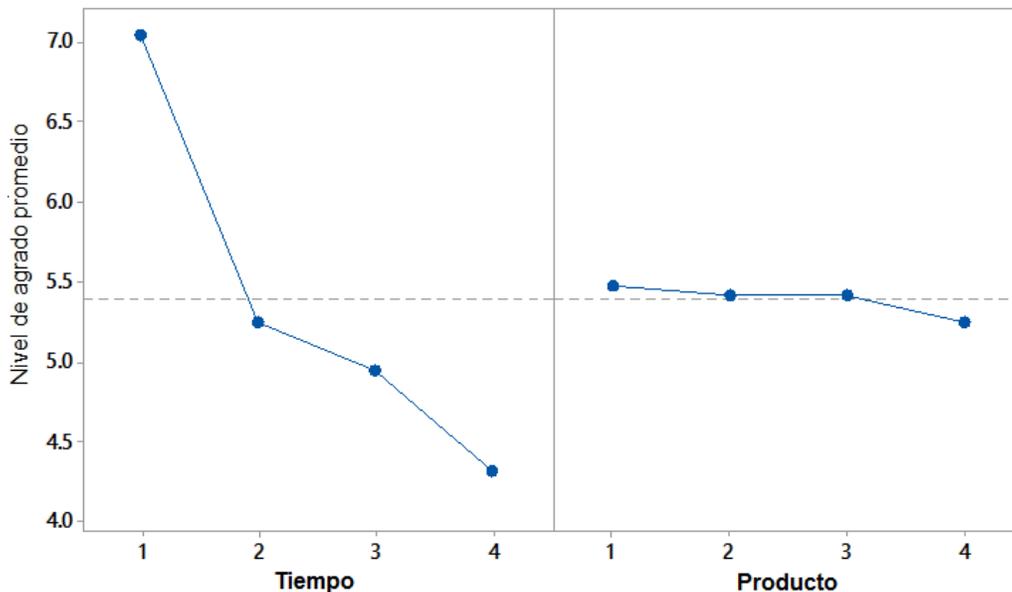
Cuadro 3. Códigos de tiempos de almacenamiento de la prueba preliminar 2 de nopal

Tiempo	Día de almacenamiento
1	1
2	6
3	11
4	14

Cuadro 4. Códigos de productos de la prueba preliminar 2 de nopal

Producto	Tipo
1	Atlixco domo
2	Atlixco bolsa
3	Milpa Alta domo
4	Milpa Alta bolsa

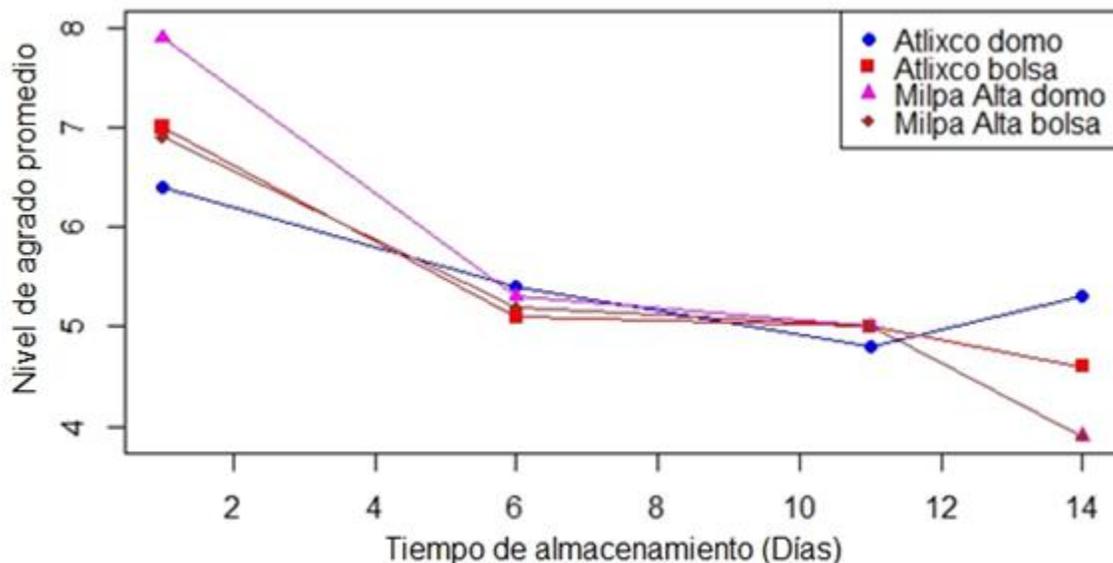
La gráfica siguiente muestra que el nivel de agrado promedio disminuyó considerablemente del día 1 al día 6 de evaluación (de 7 “Me gustó” a 5 “Ni me gustó ni me disgustó”), posteriormente éste disminuyó gradualmente hasta alrededor de 4 (“Me disgustó un poco”); en cuanto a productos, el promedio del nivel de agrado se mantuvo constante en alrededor de 5.5 para los 4 productos.



Gráfica 4. Nivel de agrado por tiempo y por producto de la prueba preliminar 2 de nopal

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

En la gráfica siguiente se muestra el nivel de agrado para cada uno de los productos a lo largo del tiempo de almacenamiento donde se observa que el nopal fresco presentó valores entre 6 y 8 en las 4 muestras, colocándolo en la escala entre “Me gustó un poco” y “Me gustó mucho”. Conforme pasa el tiempo de almacenamiento el nivel de agrado por los productos fue disminuyendo, y se puede observar que al llegar a los 14 días de almacenamiento el nivel de agrado más bajo (alrededor del punto 4 de la escala que corresponde al nivel de “Me disgustó un poco”) corresponde a los productos provenientes de Milpa Alta tanto envasados en bolsa como en domo. Cabe señalar que existió una disminución acentuada del nivel de agrado entre la muestra fresca y la muestra almacenada a los 6 días lo que indica que los atributos sensoriales se deterioraron en gran medida en este lapso. El producto Milpa Alta-domo obtuvo un nivel de agrado inicial mayor, sin embargo, al final del tiempo de almacenamiento la disminución del nivel de agrado también fue mayor.



Gráfica 5. Nivel de agrado promedio vs tiempo de almacenamiento de la prueba preliminar 2 de nopal

9.1.4.3 Prueba de aceptación

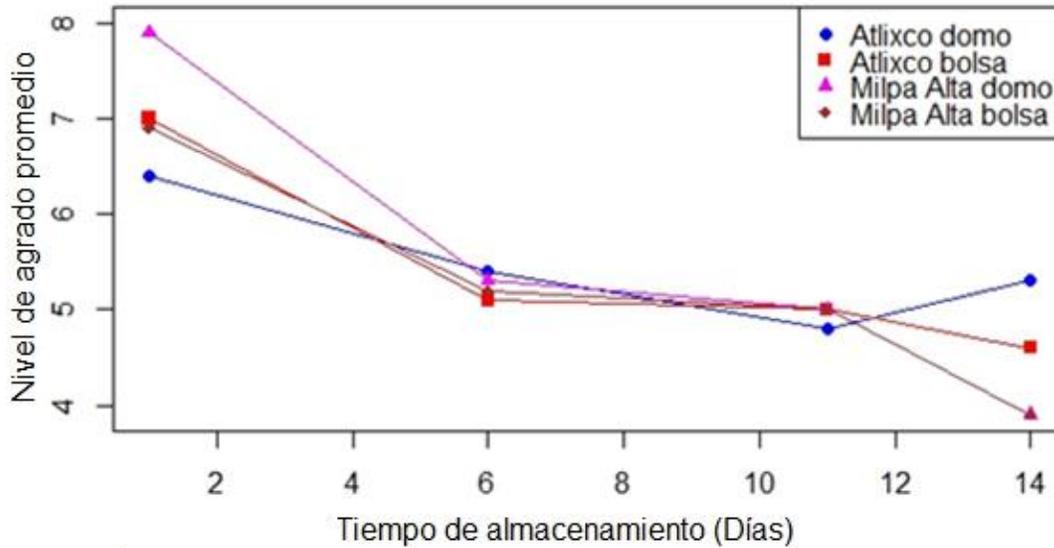
El cuadro siguiente muestra los resultados de la prueba de aceptación a lo largo del tiempo de almacenamiento de las 2 variedades de nopal en sus diferentes envases, donde al menos 8 de las 10 personas entrevistadas aceptaron las muestras frescas y conforme aumenta el tiempo de almacenamiento se observó un incremento en el rechazo de los consumidores, asimismo el porcentaje de rechazo de la variedad de Atlixco fue menor que el de la variedad Milpa Alta en el último día de la prueba (día 14).

Cuadro 5. Resultados de la prueba de aceptación de la prueba preliminar 2 de nopal

Producto	Tiempo de almacenamiento (días)	SI	NO
Atlixco domo	1	8	2
	6	7	3
	11	4	6
	14	4	6
Atlixco bolsa	1	9	1
	6	7	3
	11	6	4
	14	2	8
Milpa Alta domo	1	10	0
	6	5	5
	11	3	7
	14	1	9
Milpa Alta bolsa	1	9	1
	6	4	6
	11	4	6
	14	0	10

En la gráfica siguiente se muestra el comportamiento del porcentaje de rechazo en la cual existe un incremento gradual de dicho porcentaje a lo largo del tiempo de almacenamiento para las 4 muestras evaluadas.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios



Gráfica 6. Porcentaje de rechazo vs tiempo de almacenamiento de la prueba preliminar 2 de nopal

A partir de los descriptores obtenidos de la media geométrica se realizaron análisis de varianzas (ANOVAS) de 2 factores, incluyendo los 4 productos para conocer la existencia de diferencias significativas de los atributos a lo largo del tiempo o entre productos. Los resultados de estos ANOVAS se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. P-value de ANOVAS de 2 factores de la prueba preliminar 2 de nopal

	Descriptor	Tiempo	Producto	Tiempo* Producto
OLOR	Aceite de oliva	0.529	0.836	0.972
	Hierba	0.008	0.581	0.648
	Tuna	0.678	0.952	0.914
	Humedad	0.004	0.692	0.958
	Coladera	0.836	0.329	0.807
	Melón	0.772	0.833	0.993
	Pasto recién cortado	0.003	0.185	0.901
	Manzana	0.701	0.783	0.999
	Dulce	0.368	0.997	0.675
	Afrutado	0.839	0.776	0.805
	Refrigeración	0.132	0.382	0.949
	Nopal recién cortado	<0.001	1.83	0.548
	Acetona	0.972	0.583	0.935
	Tierra mojada	0.049	0.647	0.997
	Típico de nopal	<0.001	0.48	0.889
	Olor a viejo	0.285	0.335	0.95

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

	Olor a Oxidado	0.758	0.916	0.96
	Fresco	<0.001	0.124	0.163
	Putrefacción	0.919	0.41	0.567
	Nopal sintético (plástico)	0.225	0.005	0.802
VISUAL	Daños en tejido	<0.001	0.192	0.758
	Color café	<0.001	0.144	0.601
	Poca firmeza	0.005	0.954	0.768
	Presencia de agua	<0.001	0.022	0.965
	Quemado por frío	<0.001	0.78	0.51
	Color verde intenso	<0.001	0.51	0.458
	Color oscuro en zonas desespínadas	<0.001	0.455	0.964
	Color brillante	<0.001	0.239	0.651
	Muy firme	<0.001	0.134	0.379
	Alimento descongelado	0.828	0.88	0.937
	Nivel de agrado	<0.001	0.924	0.21

*Valores menores a 0.1 en *P-value* muestran diferencia significativa (**valores en negritas**)

Los valores marcados con negritas representan los resultados que obtuvieron diferencia significativa en los factores: tiempo, producto o la interacción tiempo*producto. Existe una serie de atributos que presentan diferencia significativa a lo largo del tiempo de almacenamiento, mientras que entre productos sólo existe diferencia significativa para los atributos “Nopal sintético (plástico)” y “presencia de agua”. En el nivel de agrado existe diferencia significativa para el tiempo de almacenamiento y la interacción producto-tiempo.

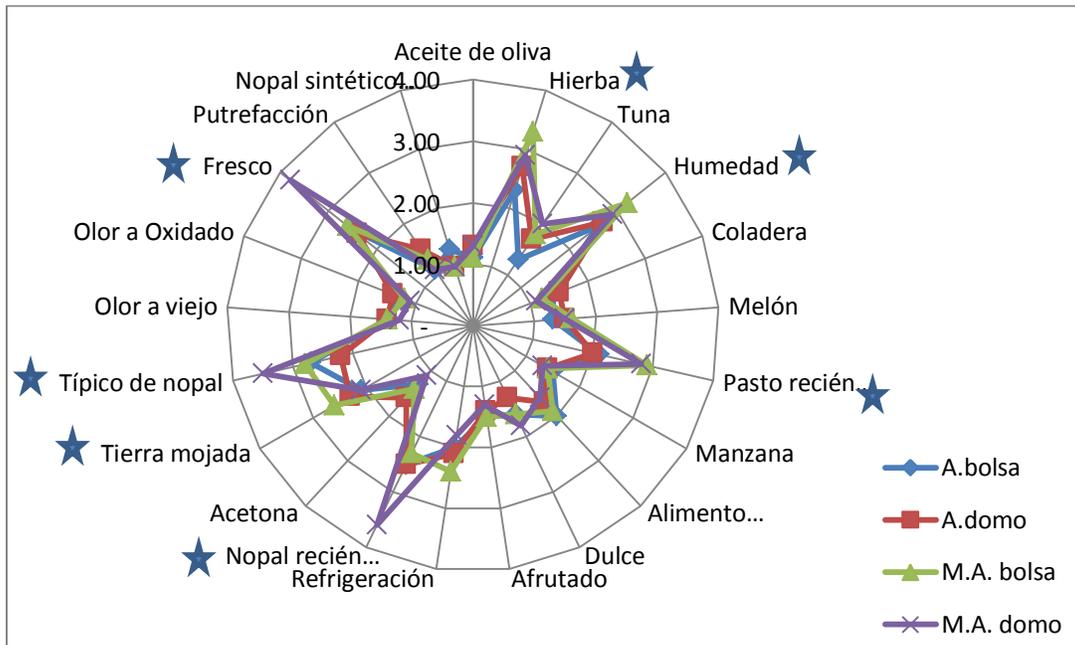
9.1.4.4 Perfiles de deterioro por tiempo de almacenamiento

Las siguientes gráficas de araña muestran los perfiles de deterioro para los 4 productos en cada día de almacenamiento, dividiendo los atributos por evaluación olfativa y visual.

9.1.4.4.1 Olor

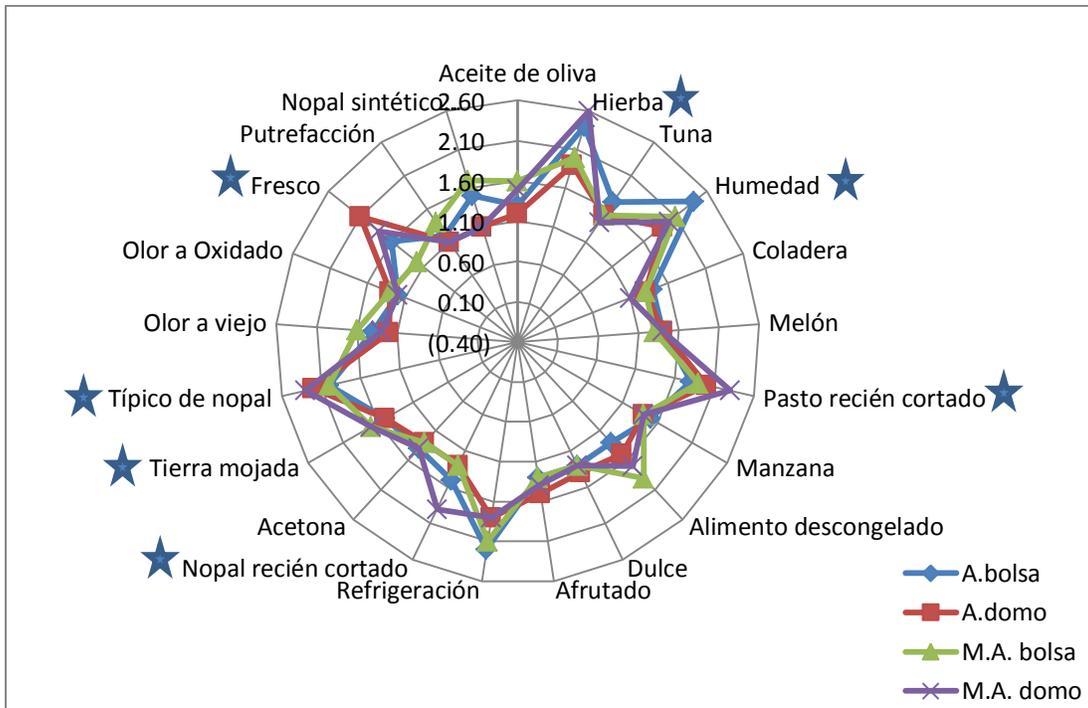
Los perfiles de olor para los 4 productos muestran los perfiles característicos de los productos en cada día de evaluación, los cuales son similares para los 4 productos; sin embargo, se observan diferencias en algunos atributos a lo largo del tiempo de almacenamiento, como son: hierba, fresco, humedad, típico de nopal, tierra mojada, nopal recién cortado y pasto recién cortado.

★ Atributos con diferencia significativa en tiempo de almacenamiento

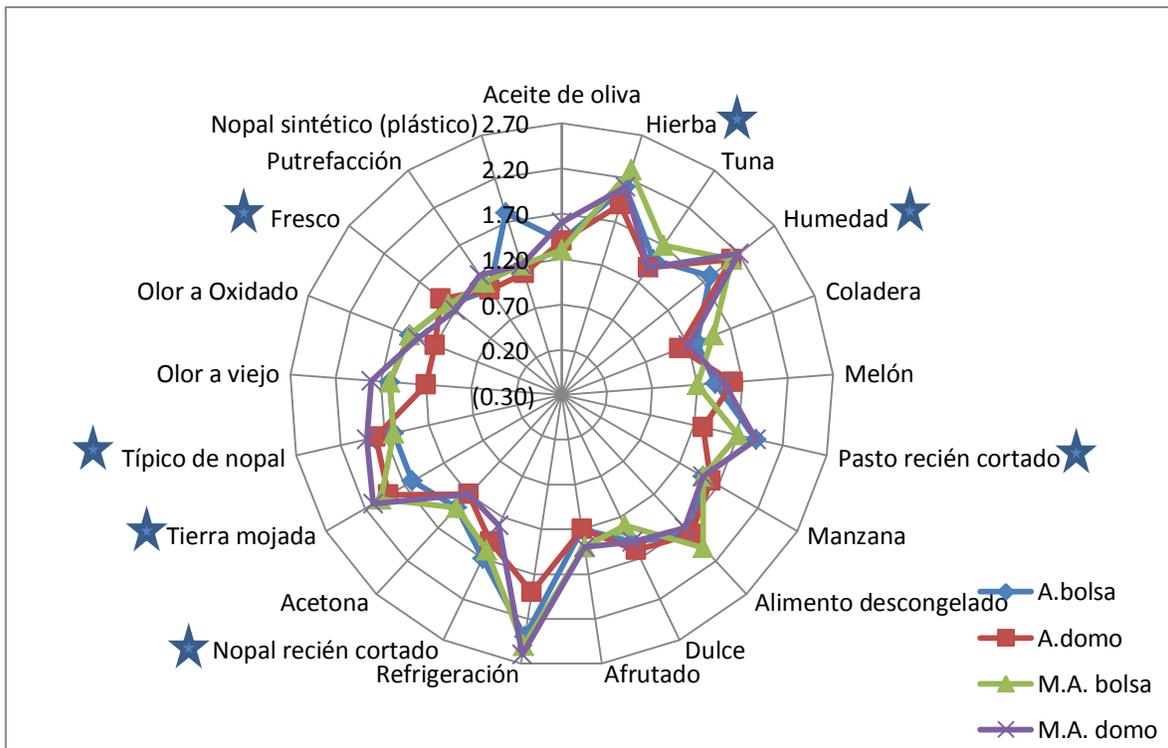


Gráfica 7. Perfil de olor de la prueba preliminar 2 para nopal almacenado durante 1 día

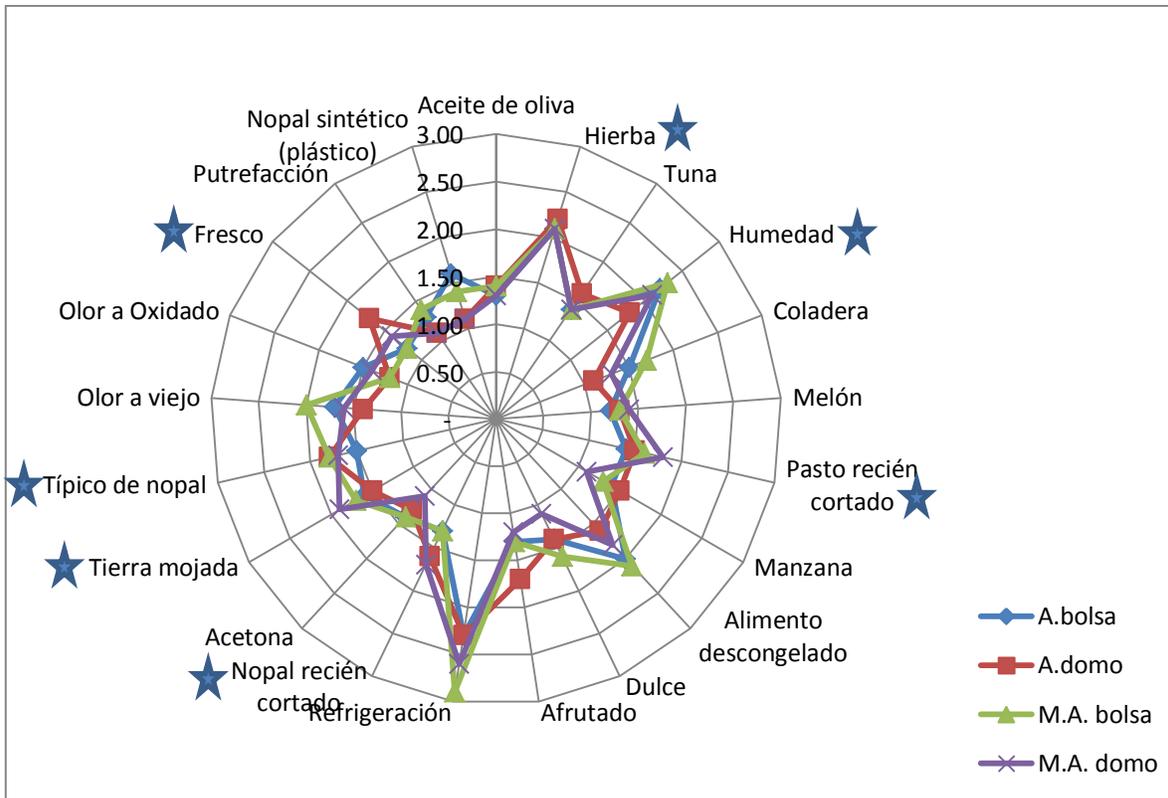
Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios



Gráfica 8. Perfil de olor de la prueba preliminar 2 para nopal almacenado durante 6 días



Gráfica 9. Perfil de olor de la prueba preliminar 2 para nopal almacenado durante 11 días.



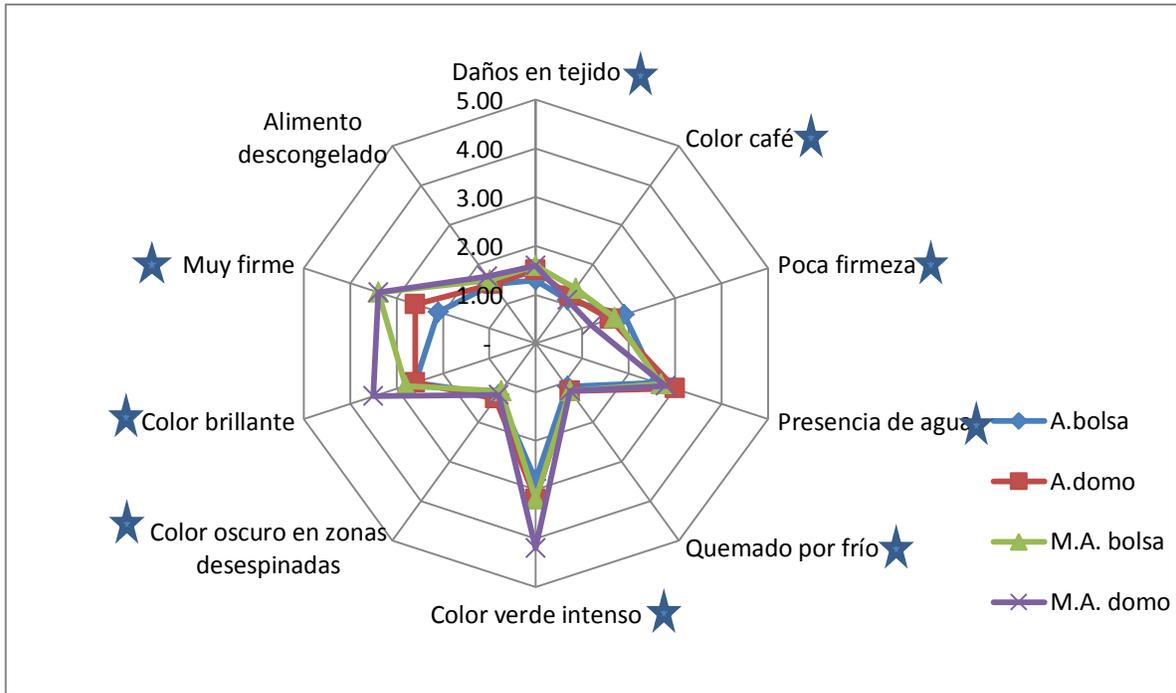
Gráfica 10. Perfil de olor de la prueba preliminar 2 para nopal almacenado durante 14 días.

9.1.4.4.2 Visual

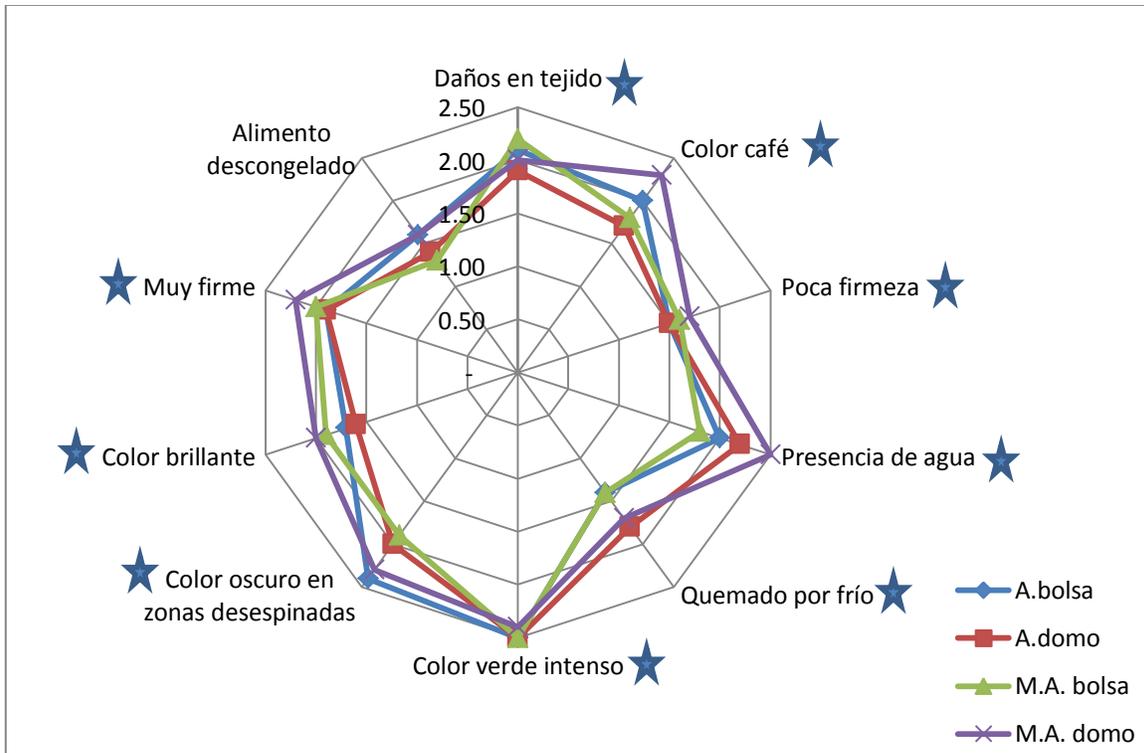
Los perfiles visuales para los 4 productos en cada día de evaluación son similares; sin embargo, se observan diferencias en algunos atributos a lo largo del tiempo de almacenamiento, como son: daños en tejido, color café/ocre, poca firmeza, presencia de agua, quemado por frío, color verde intenso, color oscuro en zonas desespínadas, color brillante y muy firme.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

★ Atributos con diferencia significativa en el tiempo de almacenamiento

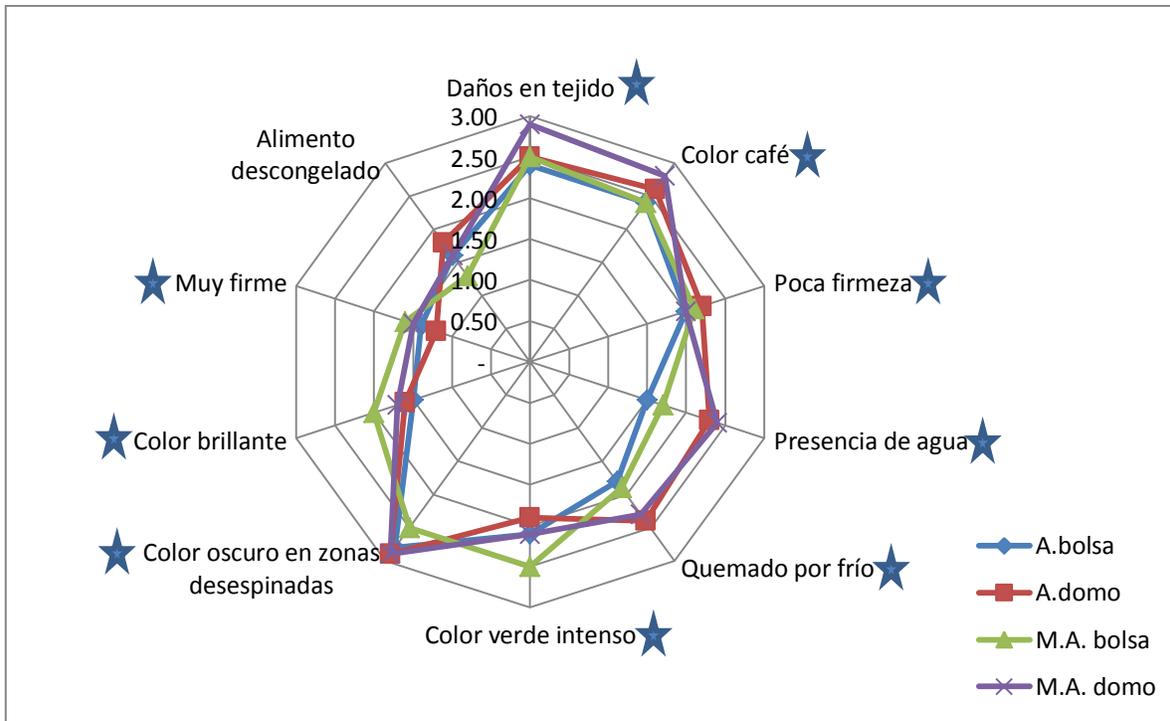


Gráfica 11. Perfil visual de la prueba preliminar 2 para nopal almacenado durante 1 día.

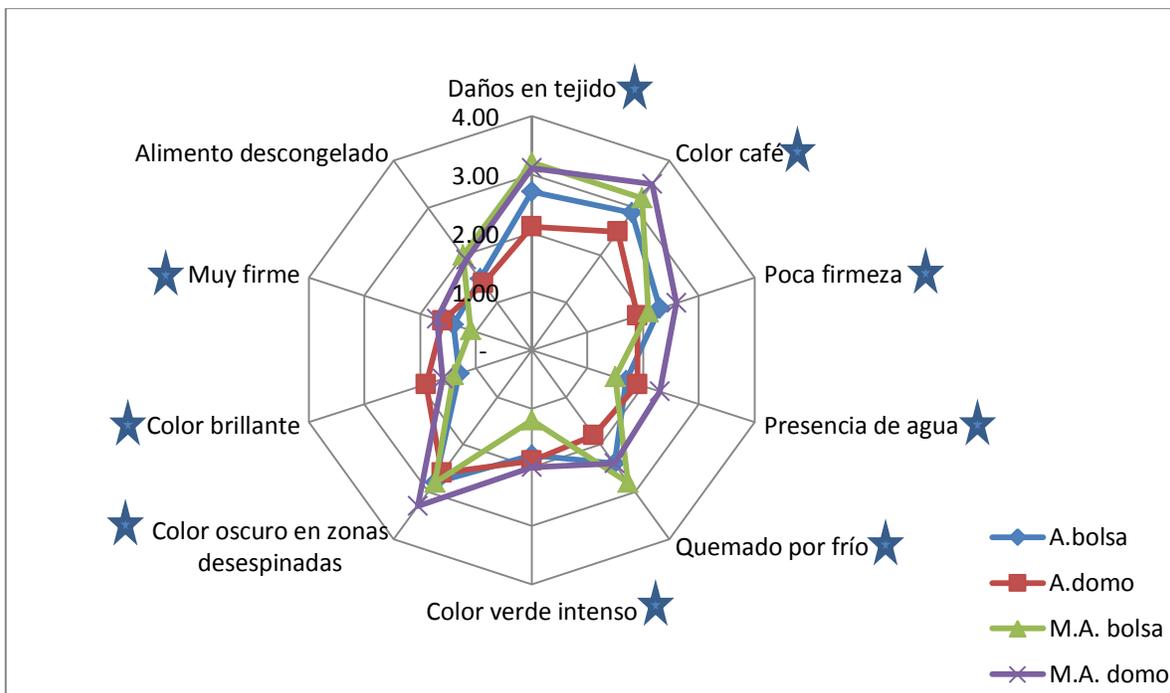


Gráfica 12. Perfil visual de la prueba preliminar 2 para nopal almacenado durante 6 días.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios



Gráfica 13. Perfil visual de la prueba preliminar 2 para nopal almacenado durante 11 días.



Gráfica 14. Perfil visual de la prueba preliminar 2 para nopal almacenado durante 14 días.

Los resultados anteriores sólo se realizaron tomando en cuenta 4 productos. Los resultados del ANOVA de 2 factores indican que existen diferencias entre algunos

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

atributos a lo largo del tiempo (hierba, humedad, pasto recién cortado, nopal recién cortado, tierra mojada, típico de nopal, fresco, daños en tejido, color café, poca firmeza, presencia de agua, quemado por frío, color verde intenso, color oscuro en zonas desespínadas, color brillante y muy firme); mientras que para el nivel de agrado existe diferencia significativa a lo largo del tiempo y en la interacción producto-tiempo; sin embargo, no se conoce si es el envase o la variedad lo que influye en el nivel de agrado de los consumidores por lo que se realizaron análisis de varianza (ANOVAS) incluyendo estos factores.

Los 3 factores que se incluyeron son los siguientes: “Tiempo de almacenamiento” con 4 niveles (Días 1, 6, 11 y 14); “Variedad de nopal” con 2 niveles (Atlixco y Milpa Alta); y “Envase” con 2 niveles (domo y bolsa). Los modelos utilizados son los siguientes:

- Tiempo de almacenamiento
- Variedad
- Envase
- Tiempo*variedad
- Tiempo*envase
- Variedad*envase
- Tiempo*variedad*envase

Los resultados de los *P-value* de los ANOVAS realizados se reportan en el cuadro 7.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Cuadro 7. *P-value* de ANOVAS de 3 factores de la prueba preliminar 2 de nopal

	Descriptor	Tiempo	Variedad	Envase	Tiempo* Variedad	Tiempo* Envase	Variedad* Envase	Tiempo* Variedad* Envase
OLOR	Aceite de oliva	0.529	0.456	0.594	0.770	0.792	0.915	0.900
	Hierba	0.008	0.168	0.878	0.552	0.940	0.878	0.228
	Tuna	0.678	0.683	0.935	0.573	0.630	0.683	0.981
	Humedad	0.004	0.327	0.484	0.800	0.724	1.000	0.852
	Coladera	0.836	0.823	0.075	0.329	0.636	0.654	0.992
	Melón	0.772	0.919	0.358	0.812	0.929	0.919	0.929
	Pasto recién cortado	0.003	0.042	0.832	0.560	0.738	0.437	0.854
	Manzana	0.701	0.350	0.755	0.926	0.976	0.755	0.944
	Dulce	0.368	1.000	0.817	0.586	0.598	1.000	0.426
	Afrutado	0.839	0.700	0.700	0.444	0.652	0.370	0.807
	Refrigeración	0.132	0.247	0.196	0.706	0.983	0.838	0.630
	Nopal recién cortado	<0.001	0.423	0.168	0.652	0.312	0.127	0.450
	Acetona	0.972	0.473	0.339	0.889	0.821	0.473	0.571
	Tierra mojada	0.049	0.226	0.893	0.993	0.928	0.686	0.810
	Típico de nopal	<0.001	0.256	0.377	0.586	0.986	0.528	0.535
	Olor a viejo	0.285	0.271	0.143	0.732	0.984	0.854	0.708
	Olor a Oxidado	0.758	0.744	0.586	0.827	0.916	0.744	0.647
	Fresco	<0.001	0.812	0.023	0.706	0.300	0.208	0.460
	Putrefacción	0.919	0.528	0.344	0.706	0.300	0.208	0.460
	Nopal sintético (plástico)	0.225	0.340	0.001	0.685	0.685	0.233	0.505
VISUAL	Daños en tejido	<0.001	0.037	0.746	0.449	0.501	0.627	0.858
	Color café	<0.001	0.053	0.642	0.416	0.719	0.228	0.373
	Poca firmeza	0.005	0.936	0.688	0.610	0.667	0.688	0.516
	Presencia de agua	<0.001	0.694	0.002	0.975	0.738	0.582	0.691
	Quemado por frío	<0.001	0.423	0.521	0.576	0.114	0.872	0.972
	Color verde intenso	<0.001	0.365	0.301	0.322	0.244	0.517	0.778
	Color oscuro en zonas desespínadas	<0.001	1.000	0.432	0.652	0.956	0.159	0.797
	Color brillante	<0.001	0.082	0.280	0.492	0.557	0.934	0.503
	Muy firme	<0.001	0.031	0.351	0.075	0.659	0.876	0.779
	Alimento descongelado	0.828	0.606	0.713	0.447	0.910	0.606	0.956
	Nivel de agrado	<0.001	0.65	0.65	0.047	0.969	.802	0.283

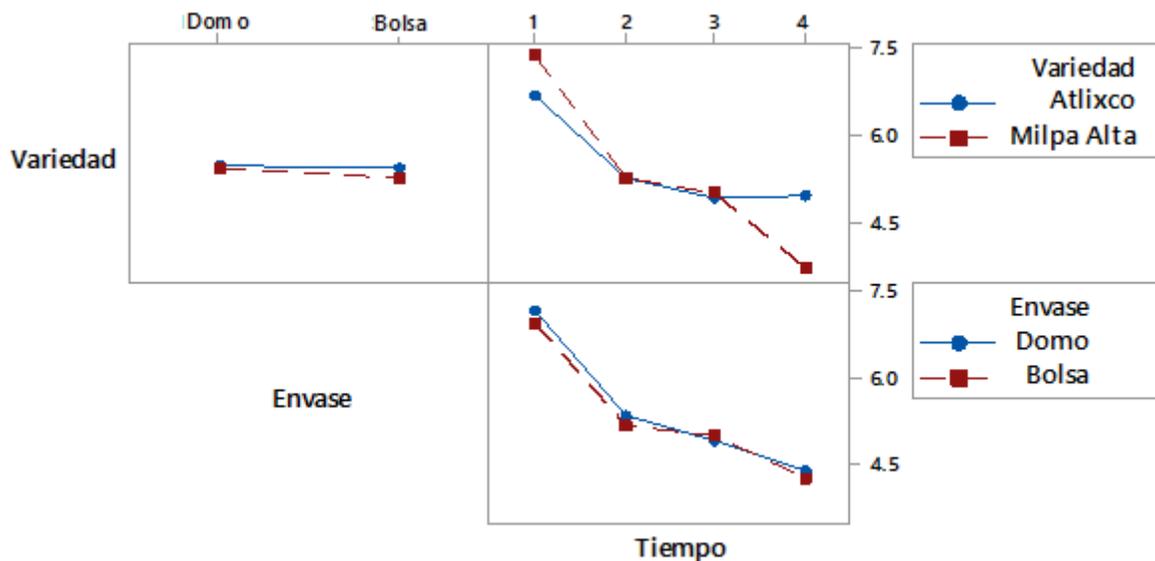
*Valores menores a 0.1 en *P-value* muestran diferencia significativa (**números en negritas**)

Los resultados del ANOVA de 3 factores muestran que los atributos con diferencia significativa para el tiempo de almacenamiento son los mismos que para el ANOVA de 2 factores. Existen algunos pocos atributos con diferencia significativa

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

atribuida a la variedad y al envase, e incluso el atributo de “Muy firme” es significativamente diferente debido a la interacción tiempo-variedad.

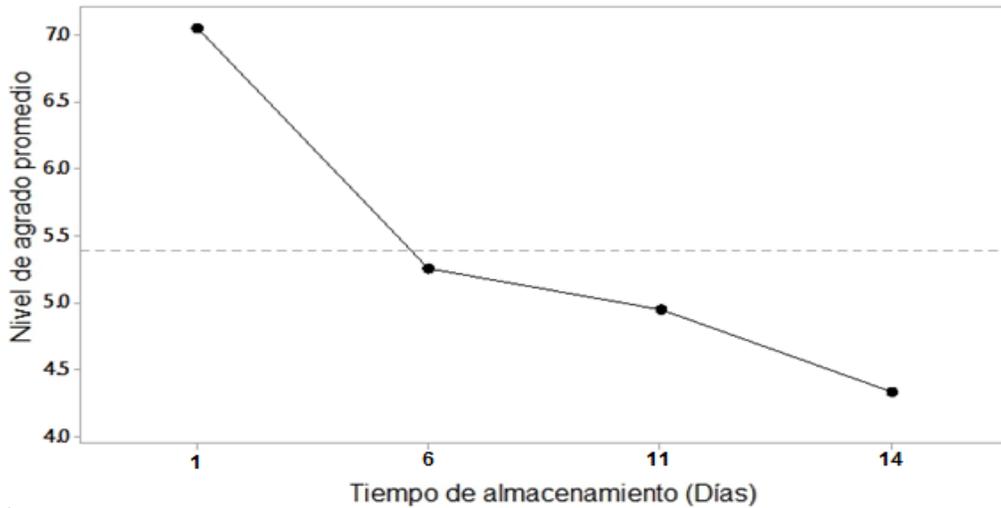
El nivel de agrado se mantiene con diferencia significativa para el tiempo de almacenamiento (igual que en el ANOVA de 2 factores); sin embargo, **no existe diferencia significativa ni por variedad ni por envase**, sólo por la interacción Tiempo*Variedad. Los resultados de este ANOVA de 3 factores se muestran en las siguientes gráficas:



Gráfica 15. Nivel de agrado. Resultados de la interacción variedad, tiempo y envase de la prueba preliminar 2 de nopal

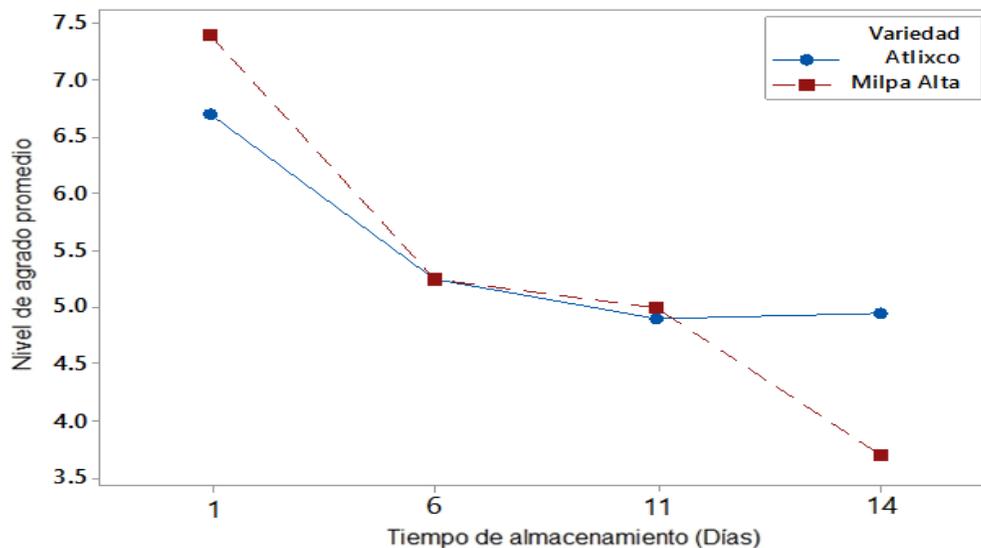
De acuerdo al ANOVA existe diferencia significativa en el nivel de agrado con el tiempo, en la gráfica siguiente se muestra el comportamiento del nivel de agrado promedio en los 4 tiempos de almacenamiento.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios



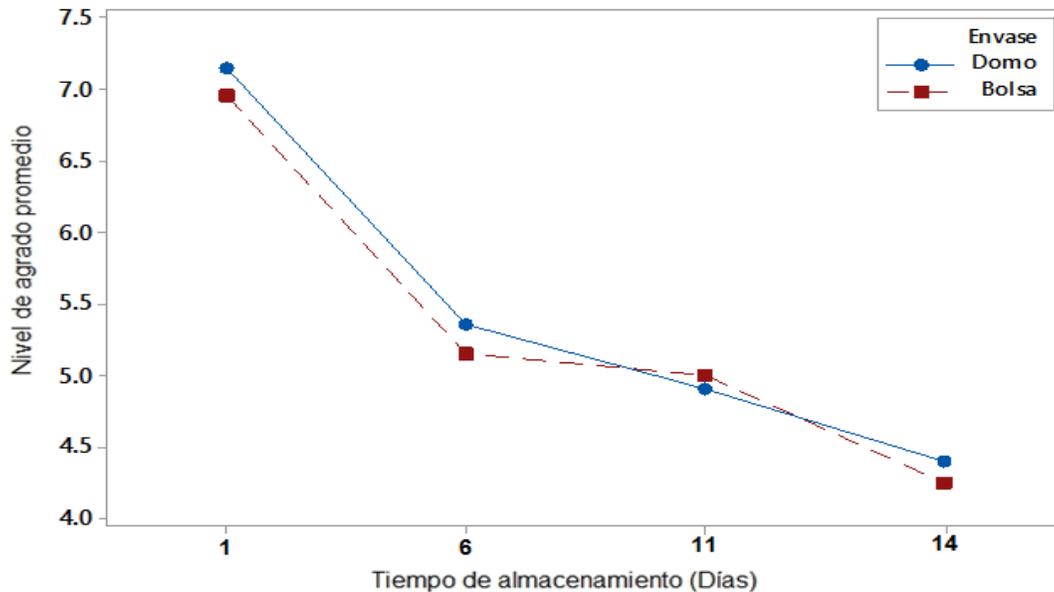
Gráfica 16. Nivel de agrado promedio vs tiempo de almacenamiento de la prueba preliminar 2 de nopal

Existe diferencia significativa con la interacción Tiempo*Variedad, esta diferencia se debe principalmente al día 14 de la evaluación, donde Atlixco presenta un mayor nivel de agrado que Milpa Alta, lo que se traduciría en mejor agrado de los consumidores hacia los atributos sensoriales y lo cual también influiría en una vida sensorial útil más prolongada.



Gráfica 17. Nivel de agrado promedio vs Interacción tiempo*variedad de la prueba preliminar 2 de nopal

La interacción Tiempo*Envase no presenta diferencia significativa en el nivel de agrado, por lo que el envase no influye en el nivel de agrado del producto y éste sólo se ve influido a lo largo del tiempo de almacenamiento.



Gráfica 18. Nivel de agrado promedio vs Interacción tiempo*envase de la prueba preliminar 2 de nopal

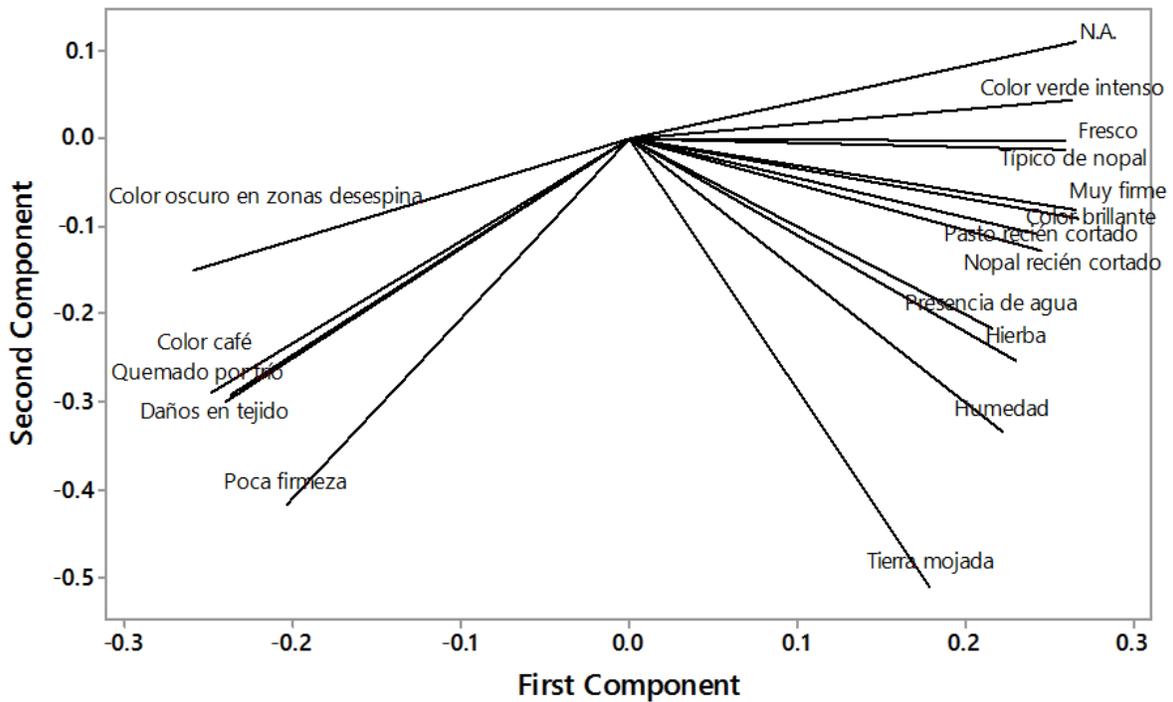
9.1.4.5 Análisis de componentes principales (ACP)

Se realizó un análisis de componentes principales para una mejor observación de los resultados del perfil sensorial. Debido al gran número de atributos evaluados, se incluyeron solamente los atributos que resultaron con diferencia significativa en los ANOVAS de 2 y 3 factores, además de incluir el nivel de agrado como un atributo más.

La gráfica siguiente muestra la posición de los atributos en los primeros 2 componentes principales, donde los atributos que se encuentran en valores más negativos del componente 1 (eje x) son los referidos a mayor deterioro, mientras que los atributos en valores más positivos del eje x serán los atributos de frescura

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

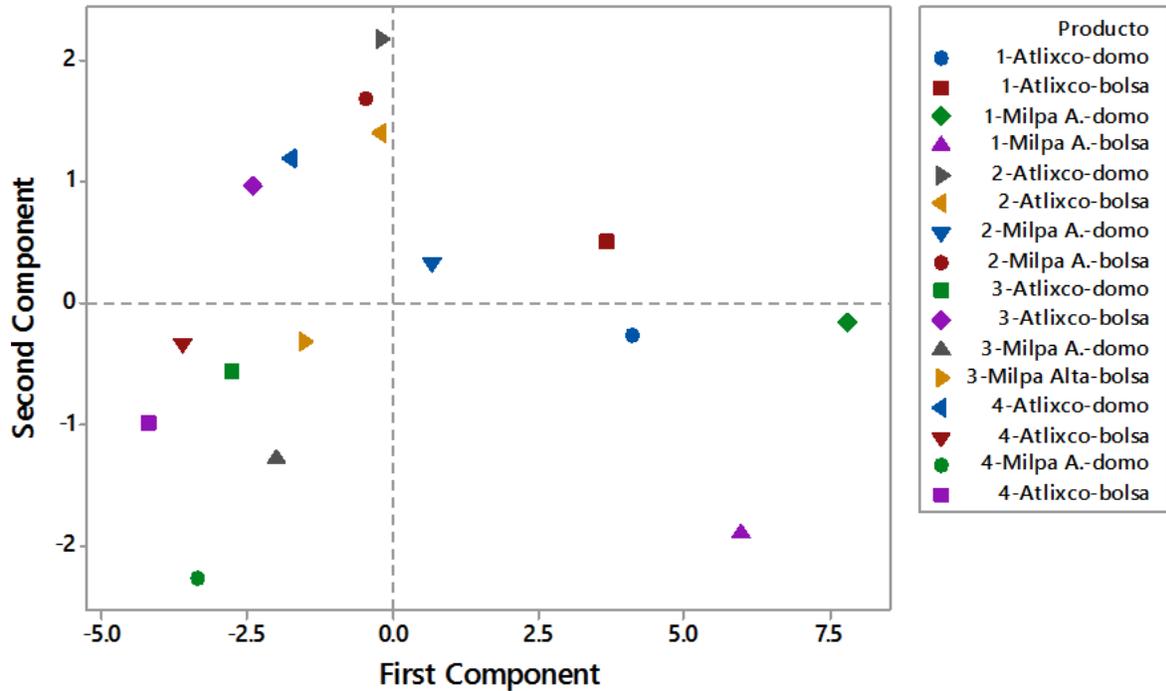
del producto. El nivel de agrado (NA) se posiciona del lado derecho del gráfico junto con los atributos de frescura.



Gráfica 19. Análisis de componentes principales. Gráfico de atributos de la prueba preliminar 2 de nopal

Se muestra en la siguiente gráfica la posición de los productos en los componentes 1 y 2, donde los productos del día 1 de almacenamiento (más frescos) se posicionan del lado derecho del gráfico, mientras que los productos con mayor deterioro (día 14 de almacenamiento) se posicionan del lado izquierdo del gráfico.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios



Gráfica 20. Análisis de componentes principales. Gráfico de productos de la prueba preliminar 2 de nopal

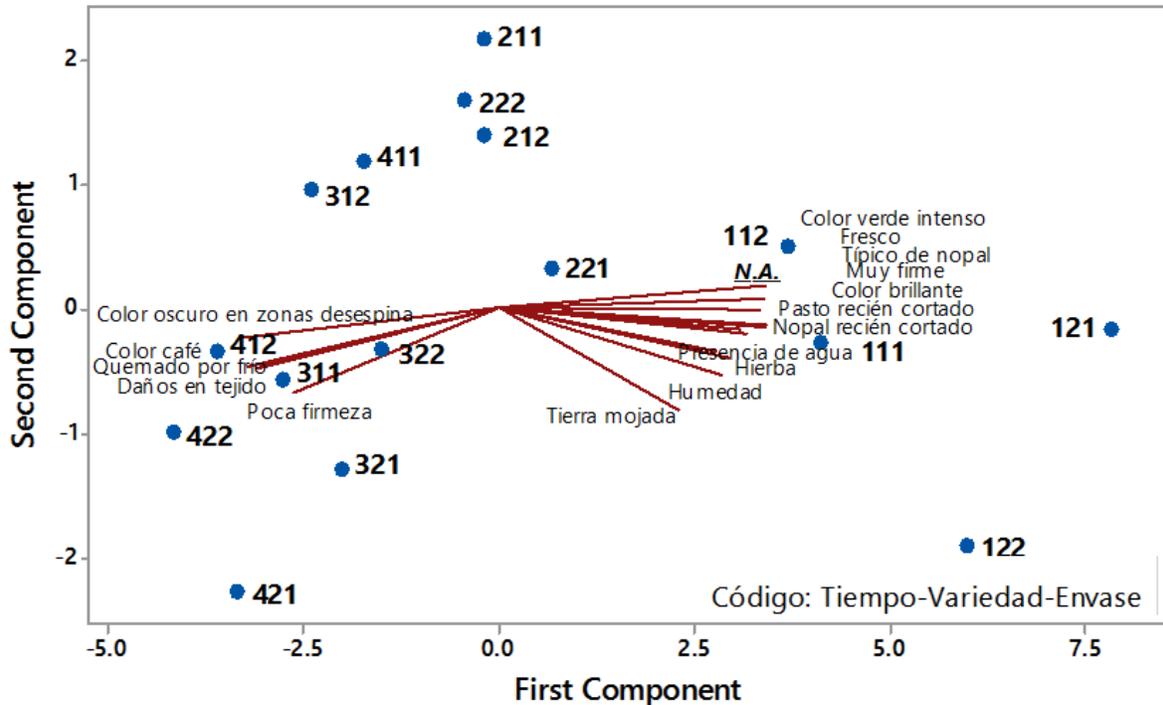
Las dos gráficas anteriores se superponen para una mejor visualización de la relación entre atributos y productos.

Los códigos utilizados se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 8. Códigos usados en el biplot del análisis de componentes principales de las pruebas preliminares de nopal

Primer número= Tiempo	Segundo número= Variiedad	Tercer número= Envase
1= Día 1	1= Atlixco	1= Domo
2= Día 6	2= Milpa Alta	2= Bolsa
3= Día 11	-----	-----
4= Día 14	-----	-----

Ejemplo: **312**, indica la evaluación del día 11 de almacenamiento, del producto de la variedad Atlixco envasado en bolsa.



Gráfica 21. Análisis de componentes principales. Bigráfico de atributos y productos de la prueba preliminar 2 de nopal

El componente principal 1 (Eje x) indica el grado de deterioro de los productos: mientras más negativa sea la posición del producto en este componente, mayor será su deterioro. Por lo que en general los productos que se encuentren en el lado derecho del eje x serán los más frescos, mientras que los que se encuentren en el lado izquierdo tendrán asociados atributos de mayor deterioro. El nivel de agrado se posiciona igualmente del lado derecho del eje x (junto a los productos frescos).

9.1.5 Análisis de resultados de las pruebas preliminares 1 y 2. Nopal

De acuerdo a los resultados de las pruebas preliminares se observa que no existe diferencia significativa del nivel de agrado atribuida al envase o a la variedad; sin embargo, existe diferencia en la interacción tiempo-variedad, quedando Atlixco con un mayor nivel de agrado para el día de almacenamiento número 14. Debido a

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

esto, se eligió la variedad Atlixco por su mayor estabilidad a lo largo del tiempo de almacenamiento y ya que no existió influencia por el envase, se decidió utilizar bolsa debido a su facilidad de manejo y transporte.

Se observó que el nivel de agrado disminuye considerablemente en los primeros 6 días de almacenamiento, por lo que el estudio de los atributos que se modifican en este lapso podría ser de gran importancia; es así que se agregó al diseño final un control de nopal con 4 días de almacenamiento en refrigeración, para ser evaluado en cada tiempo de evaluación. Asimismo, se agregó otro control de una muestra fresca para conocer las diferencias entre dicho control y los distintos tiempos de evaluación.

En el análisis de componentes principales (incluyendo nivel de agrado), se observó que los valores negativos del componente principal 1 indican los productos que cuentan con mayor deterioro (almacenamiento al día 14) mientras que los valores positivos muestran los productos más frescos (evaluación del día 1). Los atributos seleccionados separaron los productos en cuanto a su tiempo de almacenamiento por lo que se realizó la prueba final RATA con los atributos significantes, 12 atributos para la parte de olor y 8 para la parte visual. Los atributos indicadores de deterioro (valores negativos del análisis de componentes principales) son los siguientes: color oscuro en zonas desespínadas, color café, quemado por frío, daños en tejido y poca firmeza. Los atributos indicadores de frescura (valores positivos del análisis de componentes principales) son los siguientes: color verde intenso, fresco, típico de nopal, muy firme, color brillante, pasto recién cortado, nopal recién cortado, presencia de agua, hierba, humedad y tierra mojada. Los atributos muy firme, y poca firmeza, se fusionaron para quedar como "Muy firme". Se anexaron también todos los atributos de deterioro, que aunque no se incluyeron en los análisis anteriores, resultaron en los ANOVAS con valores de *P-value* menores a 0.5: refrigeración, dulce, aceite de oliva, olor a viejo/rancio, nopal sintético/plástico.

9.2 Prueba final de Nopal



Figura 6. Nopal

9.2.1 Diseño de la prueba

A partir de las observaciones anteriores de las pruebas preliminares 1 y 2 se diseñó el siguiente experimento con los ajustes necesarios para la evaluación de la vida media del nopal envasado en una atmósfera modificada de Nitrógeno.

Cuadro 9. Diseño de la prueba final de nopal

Diseño de la prueba		
Factor	Variedad	Atlixco
	Envase	Bolsa de permeabilidad selectiva con atmósfera modificada de Nitrógeno
	# Consumidores	30 por cada tiempo
	Tiempos de almacenamiento	6 días: 0,4,7,14,21 y 28
	Almacenamiento	Cámara de refrigeración a 4 °C
	Control 1	Atlixco en bolsa con 4 días de almacenamiento a 4 °C
	Control 2	Atlixco fresco
	Metodología de recopilación de datos	Current status (Tiempos actuales)

9.2.2 Metodología

La metodología de la prueba fue la siguiente:

1. Selección del nopal. El producto presentó tamaño uniforme y sin defectos como cortes, lesiones profundas o estructura encorvada.



Figura 7. Selección de nopal

2. Lavado de las muestras. El lavado se realizó mediante un sistema con turbulencia sumergiendo las muestras en una solución de agua y cloro a 200 ppm durante 3 minutos.



Figura 8. Lavado de nopal

3. Ecurrido y secado de muestras.

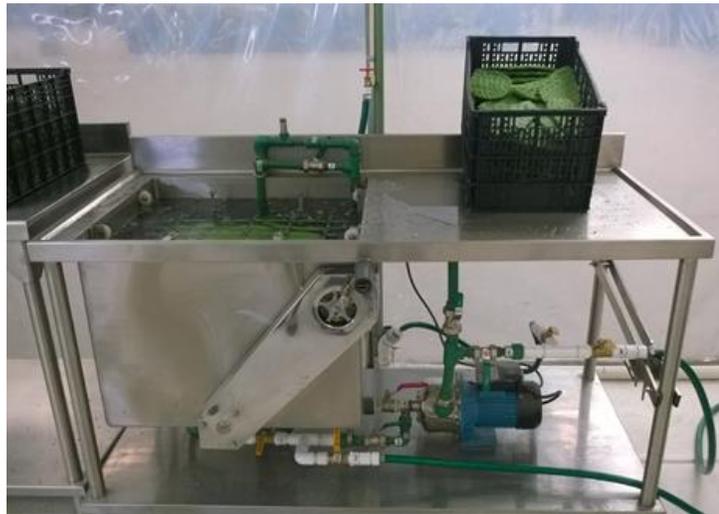


Figura 9. Ecurrido y secado de nopal

4. Desespinado manual de las muestras.



Figura 10. Desespinado de nopal



Figura 11. Nopal desespinado

5. Envasado. Las muestras de nopal se colocaron en bolsas de permeabilidad selectiva procediendo a su envasado extrayendo primeramente el aire, seguido de una inyección de Nitrógeno al 100% y sellado de la bolsa. En cada bolsa se envasaron 4 piezas de nopal de tamaño similar.



Figura 12. Envasadora de Nitrógeno



Figura 13. Envasado de nopal con Nitrógeno

6. Almacenamiento en cámara de refrigeración a 4°C, durante 28 días (último día de muestreo). El control 1 se envasó con 4 días de anterioridad a las pruebas introduciendo el producto a la bolsa y doblándola, simulando un manejo doméstico; mientras que el control 2 (producto fresco) se desespinó, envasó y se evaluó el mismo día.



Figura 14. Almacenamiento de nopal envasado, en cámara de refrigeración a 4°C

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

7. Pruebas sensoriales. Se aplicó el cuestionario a 30 diferentes consumidores en cada tiempo de evaluación (0, 4, 7, 14, 21 y 28 días) utilizando la metodología current status data, en la que un solo consumidor evalúa un solo tiempo de almacenamiento.

En cada evaluación un solo consumidor evaluó los 3 productos: fresco, refrigerado (4 días) y atmósfera modificada (en su respectivo tiempo de almacenamiento). La metodología de la aplicación de las pruebas para cada producto fue la siguiente:



Figura 15. Metodología de aplicación de pruebas de nopal

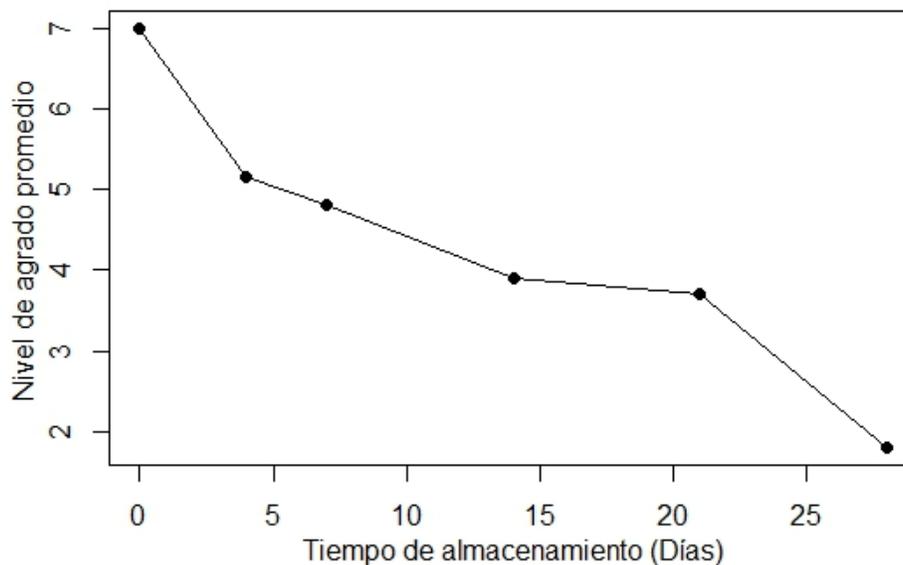
A los resultados de las pruebas de aceptación se les realizaron análisis de las distribuciones: weibull, lognormal y loglogística.

El cuestionario utilizado para la evaluación final del nopal se muestra en el ANEXO III:

9.2.3 Resultados. Prueba de nopal

9.2.3.1 Prueba hedónica

El nivel de agrado promedio para el nopal almacenado con atmósfera modificada decrece conforme pasa el tiempo, los valores obtenidos son: 7.0, 5.1, 4.8, 3.9, 3.7 y 1.8 para los tiempos 0, 4, 7, 14, 21 y 28 respectivamente. Los resultados se muestran en la gráfica siguiente:



Gráfica 22. Nivel de agrado promedio vs tiempo de almacenamiento para el nopal almacenado con atmósfera modificada.

9.2.3.1.1 Prueba de Tukey para nivel de agrado del nopal almacenado con atmósfera modificada

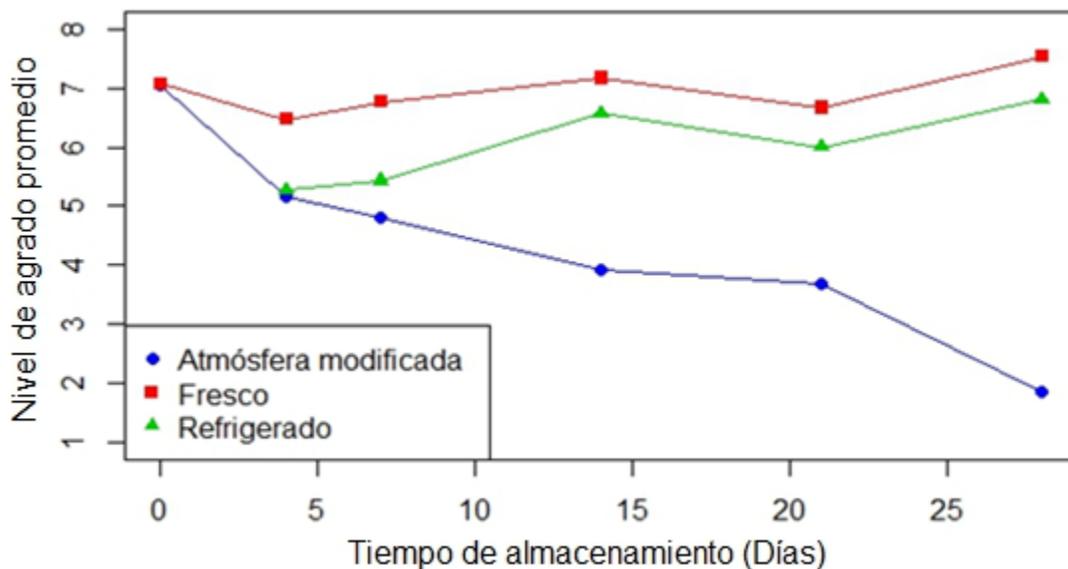
Los resultados de la prueba de Tukey mostraron que existe diferencia significativa entre el primer día de evaluación con los demás tiempos de almacenamiento al igual que existe diferencia del nivel de agrado del último día de evaluación con el resto de los días. Los días 4 y 7 no presentan diferencia significativa entre sí, así como los días 7, 14, y 21 tampoco presentan diferencia entre ellos para el nivel de agrado. Los resultados se muestran en el cuadro siguiente.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Cuadro 10. Prueba de Tukey para nivel de agrado del nopal almacenado con atmósfera modificada

Tiempo (días)	N	Mean	Grouping
0	30	7.0	A
4	30	5.1	B
7	30	4.8	B C
14	30	3.9	C
21	30	3.7	C
28	30	1.8	D

En modo de comparación se muestra en la siguiente gráfica el comportamiento del nivel de agrado promedio en cada tiempo de evaluación para los 3 productos: nopal con atmósfera modificada, nopal refrigerado (control 1) y nopal fresco (control 2), donde se observa que el promedio del producto fresco se mantuvo constante durante todos los tiempos de evaluación (alrededor de 7), mientras que el promedio del producto refrigerado con 4 días fue variable entre 5-7.



Gráfica 23. Nivel de agrado promedio vs tiempo de almacenamiento del nopal almacenado con atmósfera modificada, fresco y refrigerado

9.2.3.1.2 Prueba de Tukey para nivel de agrado del nopal en el día 4 de almacenamiento

Cuadro 11. Prueba de Tukey para nivel de agrado del nopal en el día 4 de almacenamiento

Tiempo (días)	N	Mean	Grouping
Fresco	30	6.4	A
Refrigerado	30	5.2	B
Atmósfera	30	5.1	B

La prueba de Tukey para el día 4 de almacenamiento muestra que el nivel de agrado del producto fresco fue significativamente mayor que el nivel de agrado de los productos refrigerado y con atmósfera modificada, los cuales no obtuvieron diferencia significativa entre sí.

9.2.3.1.3 Prueba de Tukey para nivel de agrado del nopal en el día 7 de almacenamiento

Cuadro 12. Prueba de Tukey para nivel de agrado del nopal en el día 7 de almacenamiento

Tiempo (días)	N	Mean	Grouping
Fresco	30	6.7	A
Refrigerado	30	5.4	B
Atmósfera	30	4.8	B

Para el día 7 de almacenamiento la tendencia del nivel de agrado fue similar que para el día 4. En el tratamiento refrigerado y con atmósfera modificada no existió diferencia significativa para el nivel de agrado, y en el producto fresco, el nivel de agrado fue significativamente diferente que los otros 2 productos. Esto implica que el nivel de agrado del producto refrigerado con 4 días fue similar al nivel de agrado del producto con atmósfera modificada hasta los 7 días de evaluación.

9.2.3.2 Prueba de aceptación

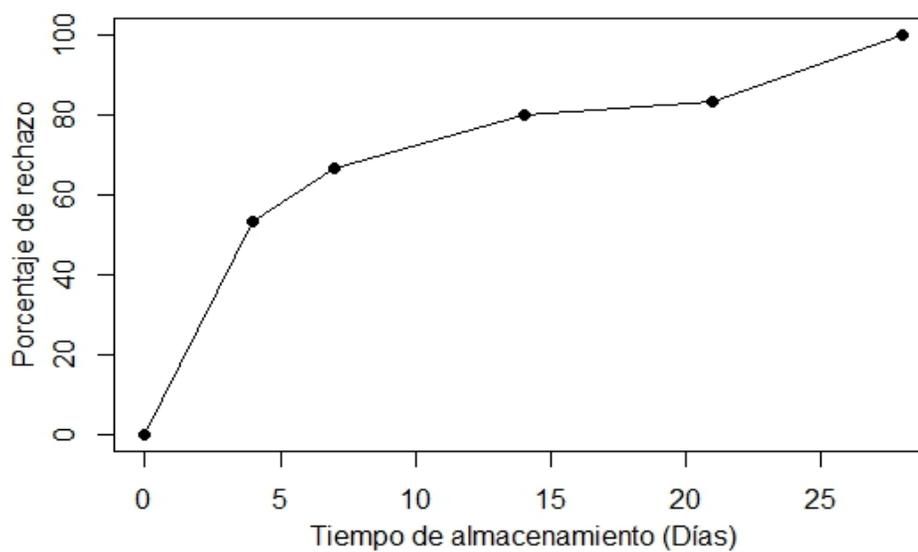
El cuadro siguiente muestra los resultados de la prueba de aceptación a lo largo del tiempo de almacenamiento del nopal almacenado con atmósfera modificada.

Cuadro 13. Resultados de la prueba de aceptación de nopal almacenado con atmósfera modificada

Tiempo de almacenamiento	# de consumidores	Aceptación	Rechazo	% de Rechazo
Muestra fresca	30	30	0	0
4 días	30	14	16	53.33
7 días	30	10	20	66.67
14 días	30	6	24	80
21 días	30	5	25	83.33
28 días	30	0	30	100

En el cuadro anterior se observa que el 100% de las personas entrevistadas aceptaron la muestra fresca, conforme aumenta el tiempo de almacenamiento se observó un incremento en el rechazo de los consumidores; sin embargo, aún a los 21 días, 17% de los consumidores evaluaron el producto como aceptable.

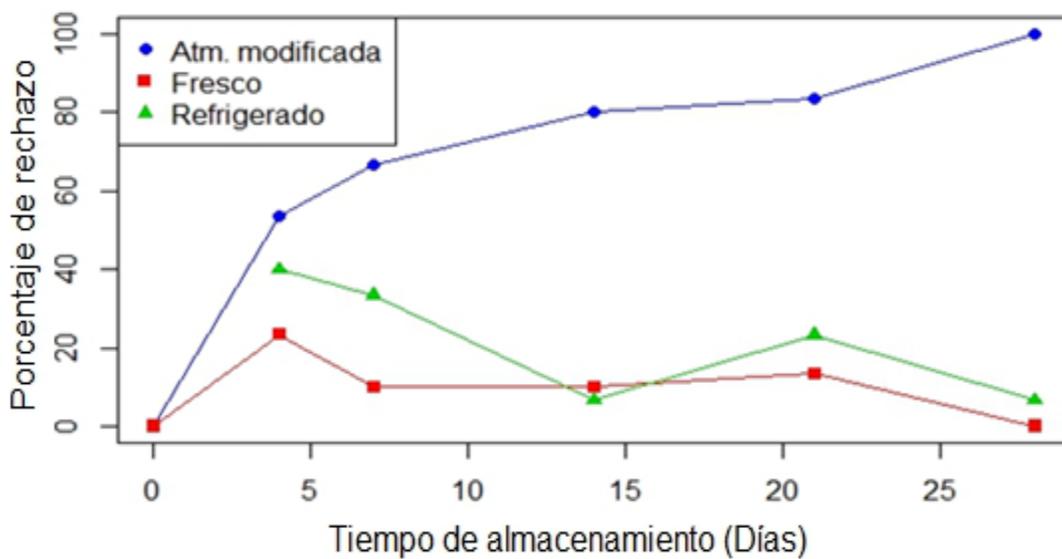
En la gráfica siguiente se muestra el comportamiento del porcentaje de rechazo a lo largo del tiempo, en la cual se observó un incremento del porcentaje entre el tiempo 0 y el tiempo de 4 días, posteriormente el porcentaje de rechazo se incrementó gradualmente hasta llegar al 100% de rechazo en el día 28.



Gráfica 24. Porcentaje de rechazo vs tiempo de almacenamiento de nopal almacenado con atmósfera modificada

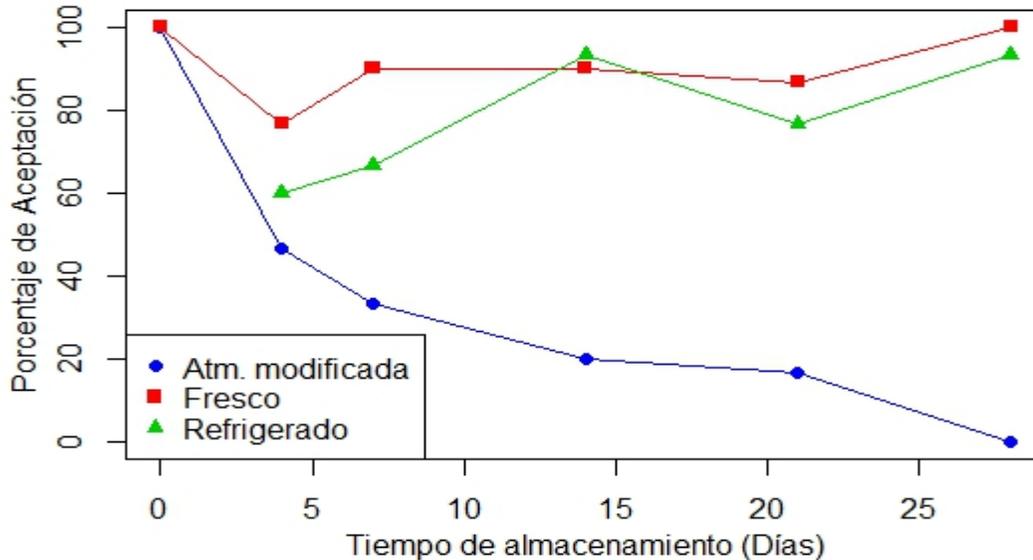
Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Asimismo, como método comparativo se muestra en la gráfica siguiente el porcentaje de rechazo para los 3 productos evaluados: atmósfera modificada, fresco y refrigerado. En ella se ilustra que el rechazo del producto fresco se mantiene por debajo del 20% en todos los tiempos de almacenamiento mientras que para el producto refrigerado, el rechazo promedio en general se encuentra por arriba de éstos porcentajes (con excepción del día 14 donde el rechazo disminuye).



Gráfica 25. Porcentaje de rechazo vs tiempo de almacenamiento del nopal con atmósfera modificada, fresco y refrigerado

La gráfica siguiente muestra el porcentaje de aceptación de los consumidores hacia los productos para cada tiempo de evaluación, es decir, el comportamiento inverso a la gráfica anterior donde se observó una disminución acentuada en los primeros 4 días de almacenamiento (para el producto con atmósfera modificada), mientras que para los productos fresco y refrigerado, los porcentajes se mantuvieron constantes.



Gráfica 26. Porcentaje de aceptación vs tiempo de almacenamiento del nopal con atmósfera modificada, fresco y refrigerado

9.2.3.3 Ajuste de datos de supervivencia (Estimador Kaplan-Meier). Censura por izquierda y censura por derecha

Para el análisis de las distribuciones se utilizaron exclusivamente los datos del nopal almacenado con atmósfera modificada.

La presencia de datos censurados* hace que la función de supervivencia no pueda ser obtenida directamente a través de argumentos probabilísticos por lo que es necesario el uso de estimadores. Por medio del estimador Kaplan-Meier los tiempos de evaluación contribuyen a la estimación de la función de supervivencia, y se utiliza para el caso en que los datos presentan censura. Este método brinda la probabilidad de que un producto sobreviva a un determinado tiempo, en este caso, la curva de supervivencia proporciona la probabilidad de que el producto no sea rechazado al tiempo de almacenamiento evaluado. El método current status estima los tiempos de supervivencia tomando en cuenta las censuras.

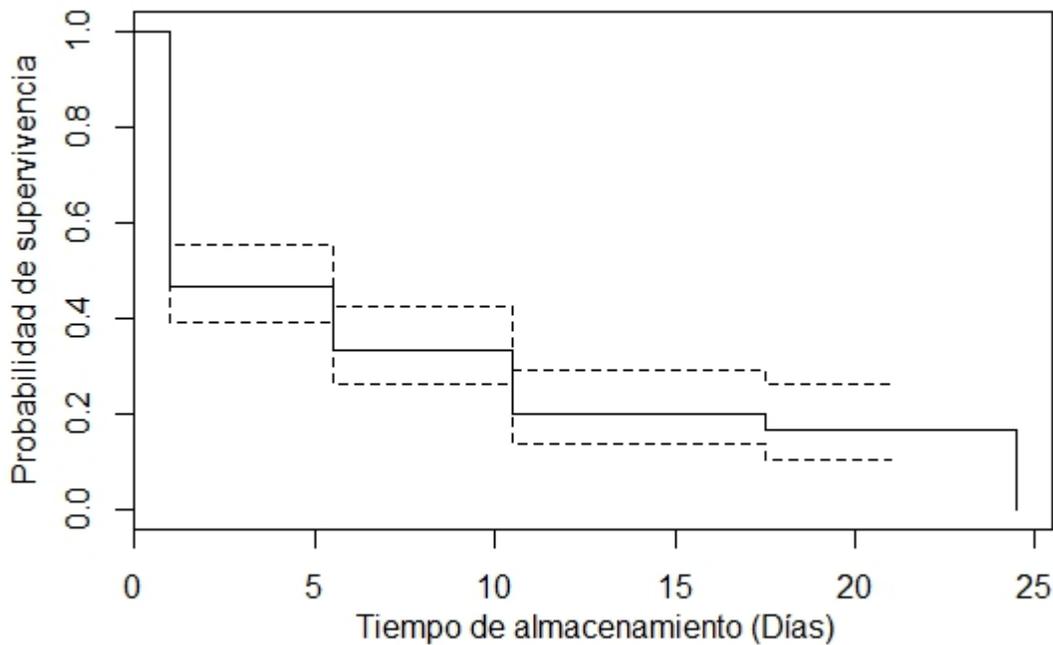
*Los datos son censurados por la derecha cuando ocurre que el producto es aceptado durante el último tiempo de la prueba, por lo que se desconoce el tiempo de rechazo del producto, mientras que la censura por izquierda ocurre cuando el producto es rechazado al tiempo de evaluación y por lo tanto su vida útil es previa a la prueba.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Los resultados se muestran en el cuadro 14 y la gráfica 27, en donde se detallan los tiempos de almacenamiento ajustados, los datos que se encuentran en riesgo de rechazo y la probabilidad de que no sean rechazados. La gráfica muestra la misma tendencia.

Cuadro 14. Ajuste de datos de supervivencia mediante el estimador Kaplan-Meier del nopal almacenado con atmósfera modificada

Tiempo ajustado	Datos en riesgo	Probabilidad de supervivencia	Intervalos de confianza (95%)
1	150	0.466	0.393-0.553
5.5	55.96	0.334	0.263-0.423
10.5	30.03	0.2	0.137-0.291
17.5	11.98	0.167	0.106-0.263
24.5	5.01	0	-----



Gráfica 27. Curva de supervivencia Kaplan-Meier de nopal almacenado con atmósfera modificada

9.2.3.4 Comparación de métodos probabilísticos

9.2.3.4.1 Ajuste de los modelos

Se realizó el ajuste y la obtención de los parámetros de cada modelo probabilístico por medio del método de máxima verosimilitud. El cuadro siguiente muestra los parámetros obtenidos de cada modelo (escala y forma). Se observa que el modelo lognormal presentó un mejor ajuste de los datos debido a que su valor de verosimilitud es mayor en comparación con las distribuciones weibull y loglogística.

Cuadro 15. Parámetros de escala y forma de los modelos probabilísticos del nopal almacenado con atmósfera modificada

Distribución	Parámetro escala	Parámetro forma	Log-verosimilitud	Verosimilitud
Weibull	7.0993	0.8261	-72.06	5.04×10^{-32}
Lognormal	1.396	0.251	-71.28	1.09×10^{-31}
Loglogística	1.421	-0.301	-71.63	7.76×10^{-32}

9.2.3.4.2 Vida media

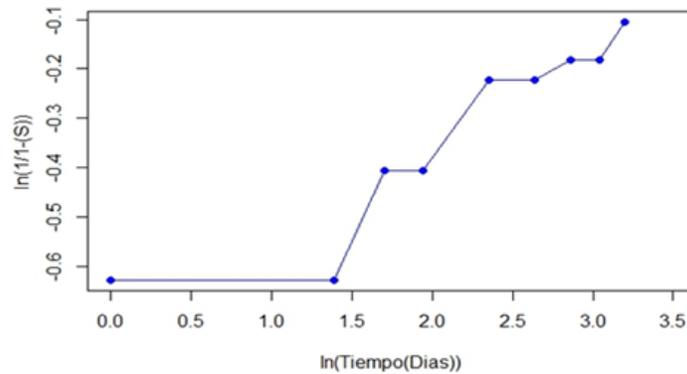
A partir de los parámetros obtenidos se calculó el valor de la vida media para cada distribución, estos resultados se muestran en la siguiente tabla en donde se observa que la distribución loglogística obtuvo un valor de vida media de aproximadamente 4 días (4.16 días) y es la que presentó una menor varianza entre los 3 métodos.

Cuadro 16. Vida media y varianza de las distribuciones del nopal almacenado con atmósfera modificada

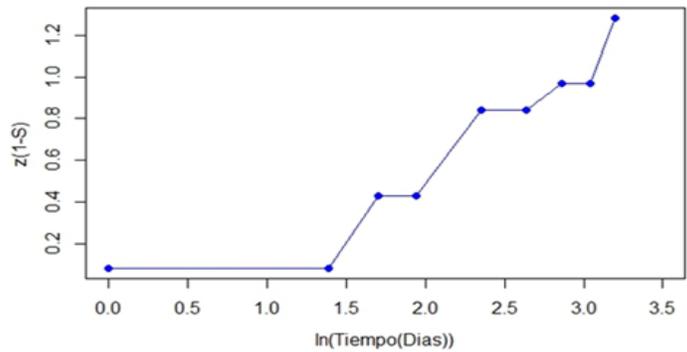
Distribución	Vida media	Varianza
Weibull	7.87	9.58
Lognormal	4.16	1.12
Loglogística	4.82	10.85

9.2.3.4.3 Validación de los modelos por medio de gráficos basados en la función de supervivencia

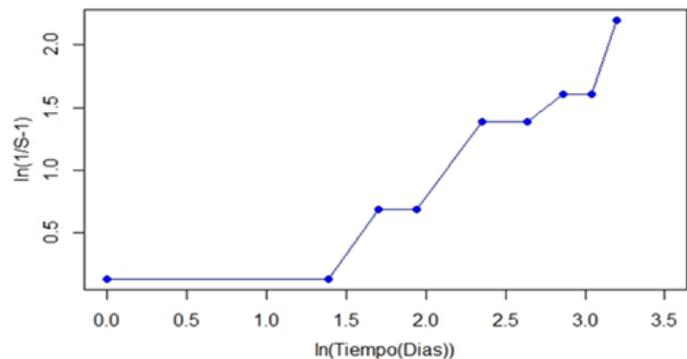
A partir de los datos obtenidos se realizó el ajuste para las tres distribuciones: weibull, lognormal y loglogística. En las 3 distribuciones se graficaron las funciones de supervivencia vs el tiempo de supervivencia en escalas logarítmicas.



Gráfica 28. Función weibull vs Tiempo de supervivencia (escalas logarítmicas) del nopal almacenado con atmósfera modificada



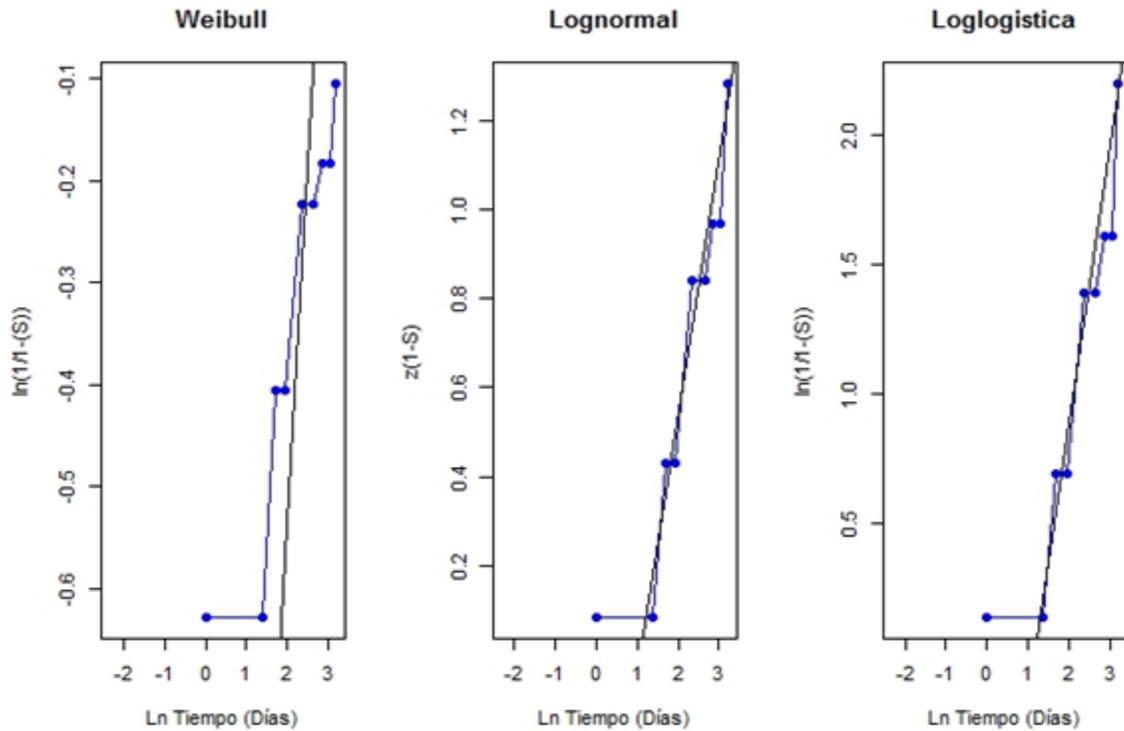
Gráfica 29. Función lognormal vs Tiempo de supervivencia (escalas logarítmicas) del nopal almacenado con atmósfera modificada



Gráfica 30. Función loglogística vs Tiempo de supervivencia (escalas logarítmicas) del nopal almacenado con atmósfera modificada

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Se realizó la linealización de las 3 gráficas, para observar el ajuste y obtener los valores de pendiente y R^2 . Si los datos de supervivencia siguen las distribuciones se espera un patrón lineal en los gráficos. Dichos resultados se muestran en la gráfica y cuadro siguientes.



Gráfica 31. Linealización de funciones de supervivencia vs tiempo de supervivencia del nopal almacenado con atmósfera modificada

Cuadro 17. Valores de pendiente y R^2 de la linealización de funciones de supervivencia vs tiempos de supervivencia del nopal almacenado con atmósfera modificada

Modelo	Pendiente	R^2
Weibull	0.7176	0.7668
Lognormal	0.58169	0.9156
Loglogístico	1.0829	0.8991

De acuerdo a los valores de R^2 , la distribución probabilística que más se acercó a cumplir con los requisitos de linealidad, fue la distribución lognormal, seguida de la distribución loglogística, y por último la distribución weibull. Esto indica que la distribución que mostró un mejor ajuste de los datos es la distribución lognormal.

9.2.3.4.4 Comparación mediante el criterio de información de Akaike (AIC)

Debido a la similitud de los gráficos, se evaluó el criterio de información Akaike, los resultados de este criterio para cada distribución son los siguientes:

Cuadro 18. Valores del Criterio de Información Akaike (AIC) del nopal con atmósfera modificada

Modelo	Criterio de Información Akaike (AIC)
Weibull	148.13
Lognormal	146.57
Loglogístico	147.27

Este criterio indica que la distribución que obtenga un menor valor entre un conjunto de distribuciones tendrá un mejor ajuste de los datos, en este caso, la distribución lognormal es la que mostró un mejor ajuste (debido a que presentó un menor valor de AIC), seguida de la loglogística y por último la distribución weibull con menor ajuste de los datos; lo cual concordó con la validación de los métodos de acuerdo a las funciones de supervivencia.

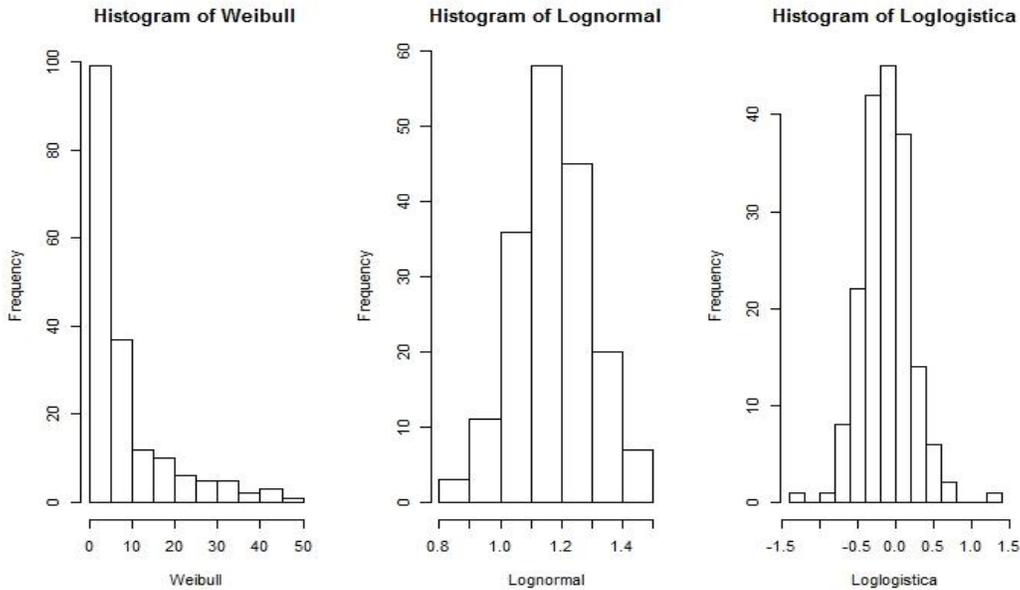
El AIC y el valor log-verosimilitud no indican si los datos de supervivencia iniciales se ajustan a los modelos propuestos, ya que las comparaciones se realizan sólo entre los 3 modelos, dando como resultado un mejor ajuste de la distribución lognormal.

9.2.3.4.5 Pruebas de bondad de ajuste de los datos

Para comprobar si los datos iniciales se ajustan a los modelos propuestos se realizó una simulación de datos (mediante el software estadístico R) utilizando cada distribución con los respectivos parámetros obtenidos. El número de datos generados fue igual al número de datos teóricos (180), (ANEXOS IV, V y VI).

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

En la gráfica siguiente se muestran los histogramas del comportamiento de cada distribución de las simulaciones de los datos:



Gráfica 32. Histogramas de las distribuciones weibull, lognormal y loglogística de los datos simulados del nopal

Se realizó una prueba Kolmogorov-Smirnov para conocer si existe diferencia entre los 2 conjuntos de datos (reales vs modelados). Los resultados se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 19. Valores de P para la prueba Kolmogorov-Smirnov de los datos simulados vs datos reales del nopal almacenado con atmósfera modificada

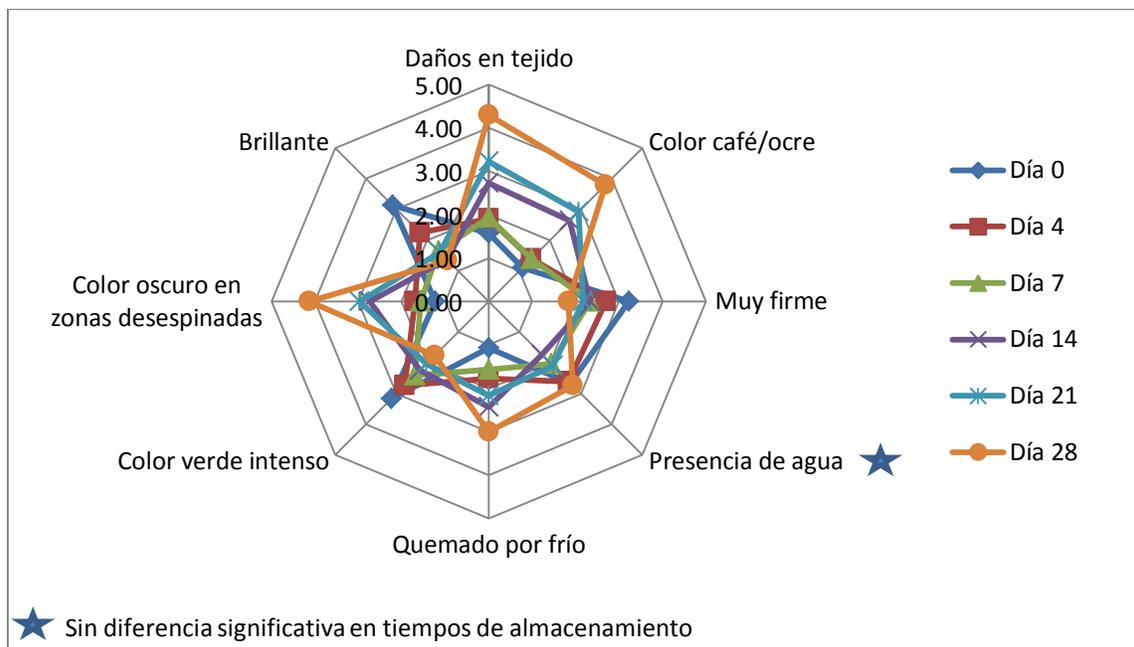
Distribución	Valor de p
Weibull	<0.1
Lognormal	<0.1
Loglogística	<0.1

Los resultados de p menores a 0.1 indican que existió diferencia entre los conjuntos de datos y por lo tanto éstos no se ajustaron completamente a ningún modelo probabilístico, sin embargo, de acuerdo a los análisis anteriores (valor p de

log-verosimilitud, linealización de las funciones de supervivencia y AIC) entre las 3 distribuciones la que más se ajustó fue la lognormal.

9.2.3.5 Perfil de deterioro

Se elaboraron los perfiles de deterioro del nopal (con atmósfera modificada) a lo largo del tiempo de almacenamiento. Las gráficas siguientes muestran el perfil visual y de olor del nopal:

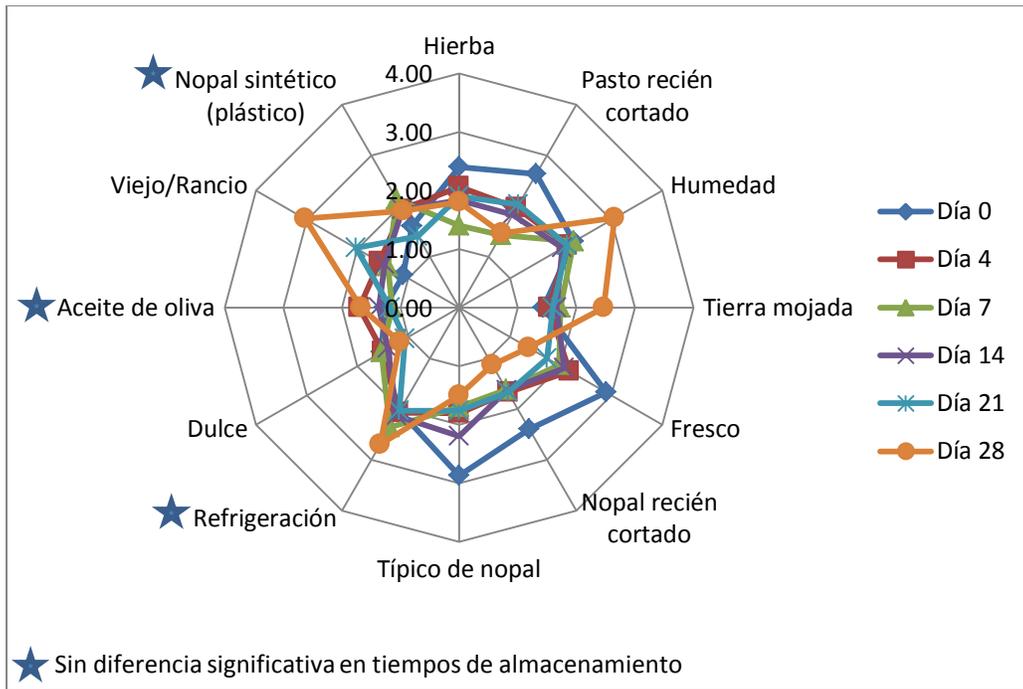


Gráfica 33. Perfil visual de deterioro de la prueba RATA de nopal almacenado con atmósfera modificada

En la gráfica del perfil visual se observa el incremento de algunos atributos de deterioro para el día 28 (línea anaranjada), tales como daños en tejido, color café/ocre, color oscuro en zonas desespínadas o quemado por frío. Asimismo se observa una relación inversa con los productos evaluados en el día 0 y el día 4 (línea azul fuerte y roja, respectivamente) donde ambos perfiles son muy similares entre sí y están fuertemente determinados por los atributos de frescura: color

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

verde intenso, muy firme y brillante. Según el perfil visual, después del día 7 de almacenamiento es cuando se observa claramente un incremento en los atributos de deterioro.



Gráfica 34. Perfil de olor de deterioro de la prueba RATA de nopal con atmósfera modificada

En la gráfica del perfil de olor se agrupan 3 perfiles: uno para la muestra fresca (línea azul fuerte), otro para los días 4, 7, 14 y 21, y un perfil diferente para el día 28 (línea anaranjada) donde los atributos de deterioro se muestran más marcados. El primer perfil (día 0 de evaluación) indica los atributos de frescura: hierba, pasto recién cortado, fresco, nopal recién cortado y típico de nopal. Por otro lado el perfil del día 28 de evaluación muestra los atributos de deterioro: viejo/rancio, humedad, tierra mojada y refrigeración. El perfil de los días 4, 7, 14, y 21 se mantiene en puntos intermedios a los 2 perfiles anteriores y no muestra una tendencia clara, lo cual indica que el tratamiento con atmósfera modificada mantiene los atributos de olor constantes en este lapso.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Los ANOVAS para el perfil visual y de olor se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 20. ANOVAS del perfil visual y olor del nopal almacenado con atmósfera modificada

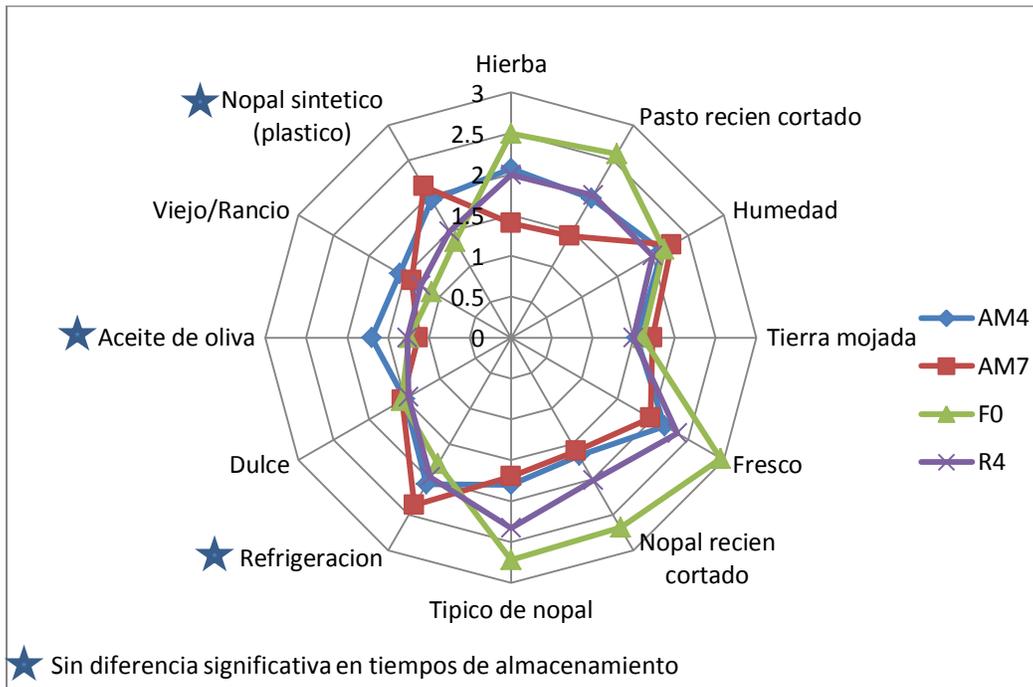
	Descriptor	Tiempo
VISUAL	Daños en tejido	2.00E-16
	Color café/ocre	2.00E-16
	Muy firme	2.24E-08
	Presencia de agua	0.371
	Quemado por frío	2.07E-11
	Color verde intenso	7.64E-09
	Color oscuro en zonas desespínadas	2.00E-16
	Brillante	1.66E-13
OLOR	Hierba	0.06
	Pasto recién cortado	0.0023
	Humedad	0.057
	Tierra mojada	0.00137
	Fresco	0.000000685
	Nopal recién cortado	0.000035
	Típico de nopal	0.000346
	Refrigeración	0.121
	Dulce	0.0048
	Aceite de oliva	0.639
	Viejo/Rancio	2.31E-10
	Nopal sintético (plástico)	0.87
	Nivel de agrado	2.00E-16

*Valores menores a 0.1 en *P-value* muestran diferencia significativa (**números en negritas**)

Los análisis de varianza (ANOVAS) muestran una gran cantidad de atributos que discriminaron entre el tiempo de almacenamiento ($\alpha=0.1$), los cuales fueron buenos indicadores de deterioro. Solamente “presencia de agua” para el perfil visual, y “nopal sintético (plástico)”, “aceite de oliva” y “refrigeración” para el perfil de olor no discriminaron entre el tiempo de almacenamiento y por lo tanto no resultaron ser atributos indicadores de deterioro.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

En la gráfica anterior se observan perfiles similares tanto para el control almacenado en refrigeración durante 4 días y para las muestras almacenadas durante 4 y 7 días con atmósfera modificada. El perfil distinto es el de la muestra fresca, en el que los atributos de frescura se mostraron más marcados.

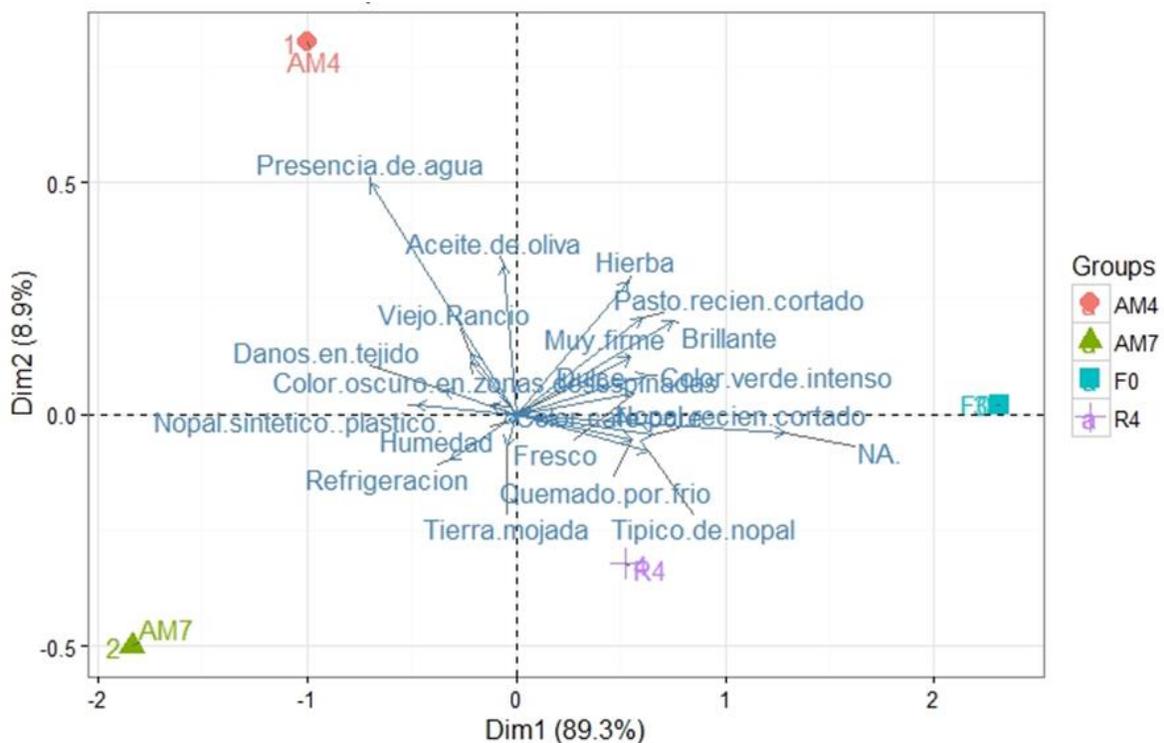


Gráfica 36. Perfil de deterioro de olor de la prueba RATA de nopal para controles y atmósfera modificada de 4 y 7 días

En la gráfica anterior se muestran los atributos del perfil de olor, donde observamos que las muestras almacenadas con atmósfera modificada comparten valores similares, entre sí, en diversos atributos, los cuales sólo pueden diferenciarse mediante el olor a hierba y a pasto recién cortado. La muestra fresca presentó altos valores de los atributos de frescura en comparación con los demás productos: fresco, nopal recién cortado o típico de nopal. Por último, la muestra refrigerada durante 4 días presentó atributos similares para las muestras almacenadas con atmósfera y para la muestra fresca. Esto indicó que el perfil de olor puede diferenciar una muestra fresca, comparada con otros productos con distintos tiempos de almacenamiento.

9.2.3.5.2 Análisis de componentes principales de controles y días 4 y 7 de atmósfera modificada

Debido a que previamente se había observado una disminución acentuada en el nivel de agrado en los primeros 7 días de almacenamiento, y por consiguiente una posible disminución de los atributos de frescura en este lapso, se realizó el análisis de componentes principales exclusivamente para los controles y los días 4 y 7 de almacenamiento con atmósfera modificada para evaluar el comportamiento de los atributos en este tiempo de almacenamiento. Los resultados se muestran en la siguiente gráfica, donde los códigos utilizados son: AM4= Nopal con atmósfera modificada almacenado durante 4 días, AM7= Nopal con atmósfera modificada almacenado durante 7 días, F0= Muestra fresca/Control 2, R4= Muestra refrigerada durante 4 días/Control 1).

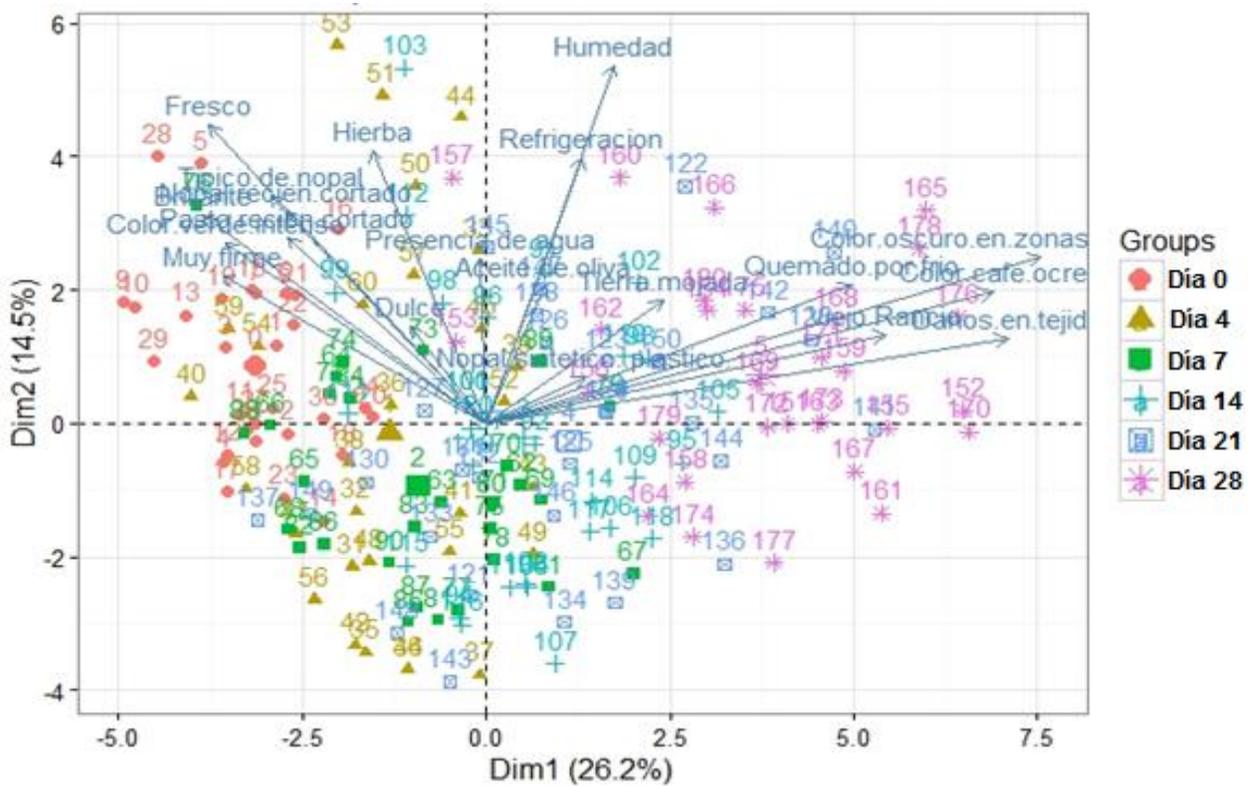


Gráfica 37. Bigráfico del análisis de componentes principales para descriptores de la prueba RATA, con promedios de controles y atmósfera modificada de 4 y 7 días.

Con la gráfica anterior se separaron los 4 productos y sus respectivos atributos asociados. Observamos que la muestra que se consideró más deteriorada por los consumidores fue la almacenada con atmósfera modificada durante 7 días (sus atributos asociados en menor proporción son: tierra mojada, refrigeración y humedad). El producto almacenado durante 4 días con atmósfera modificada muestra atributos de presencia de agua, aceite de oliva, y en menor proporción color oscuro, viejo/rancio, daños en tejido. El control almacenado en refrigeración presentó menores valores de atributos asociados a fresca sin llegar a atributos de deterioro (típico de nopal). Por último la muestra fresca estuvo asociada a los atributos de fresca como son: nopal recién cortado, típico de nopal, color verde intenso, así como el nivel de agrado como un atributo más.

9.2.3.5.3 Análisis de componentes principales de nopal almacenado con atmósfera modificada

Al realizarse el análisis de componentes principales de todos los atributos de los perfiles, los productos del tiempo 0 se posicionaron del lado izquierdo del eje x junto con los atributos de fresca (brillante, típico de nopal, color verde intenso, nopal recién cortado, etc.), mientras que los del tiempo 5 (día 28 de almacenamiento) se posicionaron del lado derecho del eje x junto con los atributos de deterioro (color café, daños en tejido, color oscuro en zonas desespinaadas, etc.). Estos resultados se muestran en la gráfica siguiente:



Gráfica 38. Bigráfico del análisis de componentes principales para descriptores de la prueba RATA, para nopal con atmósfera modificada

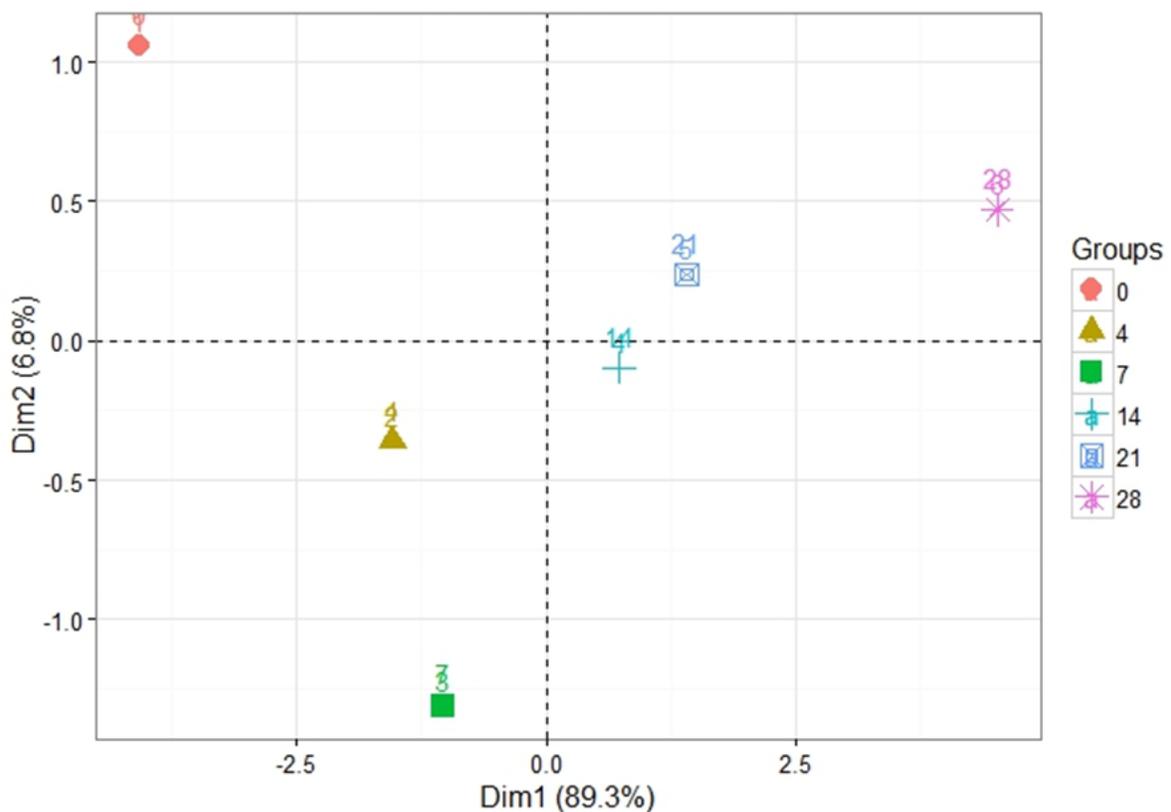
9.2.3.5.4 Análisis de componentes principales de nopal almacenado con atmósfera modificada de atributos con diferencia significativa y nivel de agrado

Se realizó otro análisis de componentes principales con los promedios generales de los productos, incluyendo sólo los atributos que presentaron diferencia significativa en los ANOVAS para el tiempo de almacenamiento y se incluyó el nivel de agrado como un atributo más.

Los resultados del PCA para los tiempos de almacenamiento se muestran en la siguiente gráfica, en ella se observa el acomodo de cada día de evaluación a lo largo del eje x, indicando el producto fresco (lado izquierdo del eje) y el producto con un mayor tiempo de almacenamiento (lado derecho del eje).

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Se observa una tendencia similar encontrada en los perfiles visuales y de olor (gráficas de araña), donde el producto fresco se mantuvo separado del resto de los productos (lado izquierdo del eje x), por otro lado, los productos almacenados por 4 y 7 días se encuentran dentro del mismo cuadrante indicando similitud entre ellos. Los productos del día 14 y 21 también se encuentran cercanos entre sí, y por último la evaluación del producto del día 28 se mantiene del lado derecho del eje x indicando un mayor deterioro.

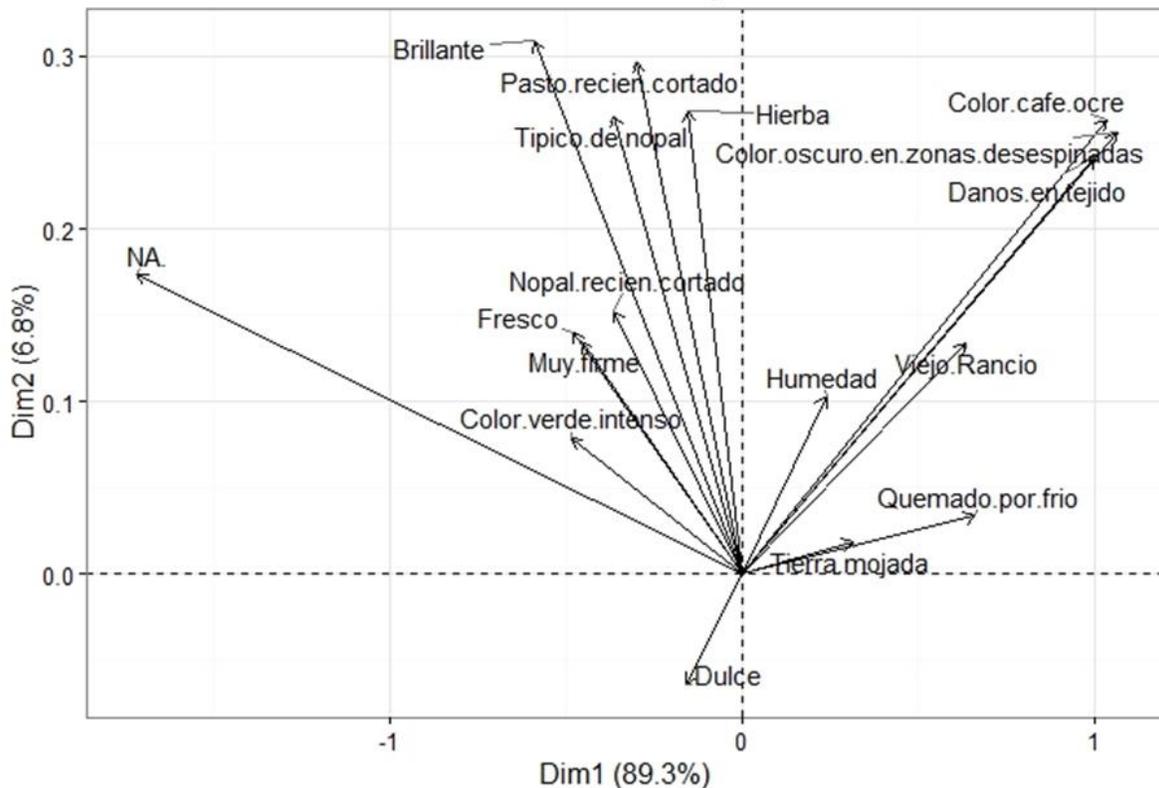


Gráfica 39. Gráfico de productos del análisis de componentes principales del nopal con atmósfera modificada.

La gráfica 40 muestra el acomodo de las variables en los ejes, se observa que los atributos de frescura (incluido el nivel de agrado: NA) se posicionan del lado izquierdo mientras que los de deterioro se encuentran del lado derecho del eje.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Los atributos de deterioro encontrados en los perfiles para el día 28 de almacenamiento corresponden a los atributos que se encuentran del lado derecho del eje, mientras que los atributos de frescura corresponden a los encontrados del lado izquierdo del eje x y hacia la zona positiva del eje y.

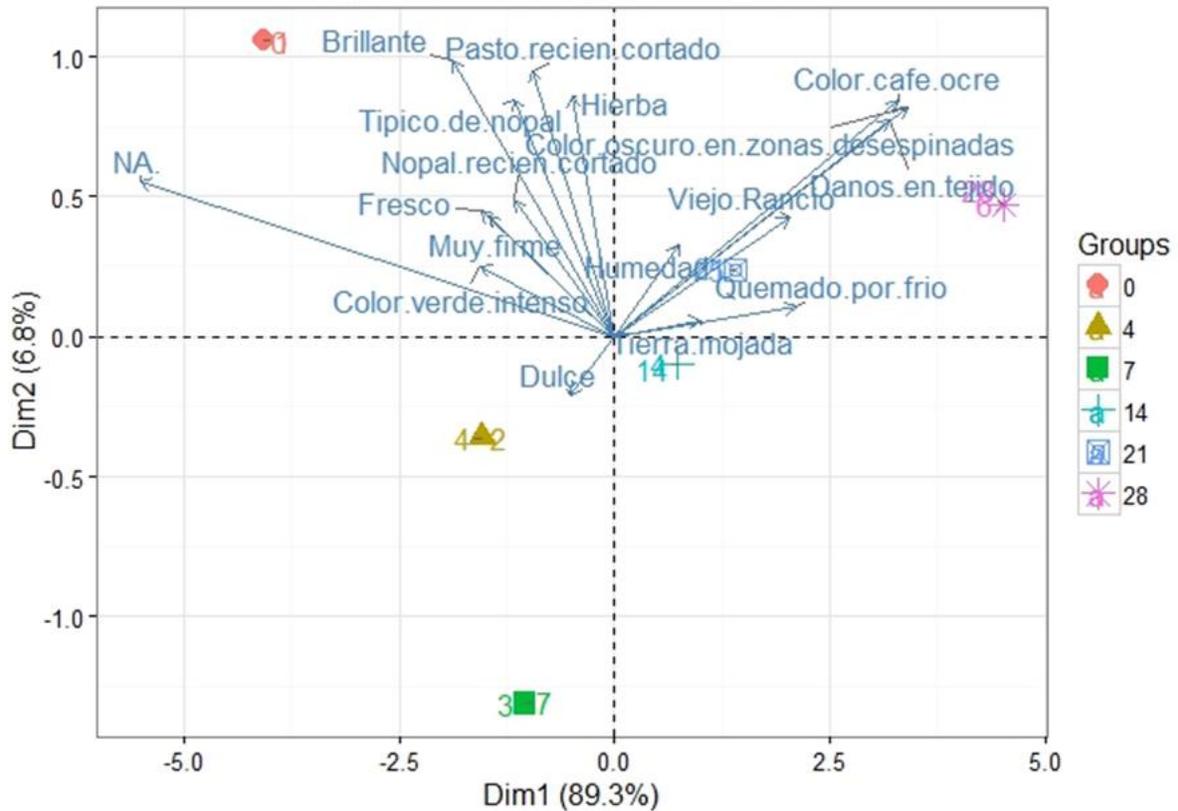


Gráfica 40. Gráfico de atributos del análisis de componentes principales, incluyendo nivel de agrado del nopal con atmósfera modificada.

Las dos gráficas anteriores se superponen para dar un panorama general de las interacciones entre variables-tiempos de almacenamiento, en ella se observa que el día 0 se posiciona del lado izquierdo del eje x junto con los atributos de frescura (brillante, pasto recién cortado, típico de nopal, etc.), mientras que el día 28 se posiciona del lado derecho del eje x junto con los atributos de deterioro (color oscuro en zonas desespínadas, olor a viejo/rancio, quemado por frío, etc.), asimismo, el nivel de agrado (NA) se posiciona del lado izquierdo del eje, es decir

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

que a mayor frescura, el nivel de agrado también es mayor. Los tiempos intermedios 4 y 7 se acomodan del lado izquierdo del eje (aún asociados a atributos de frescura, sin embargo, éstos se ven disminuidos). Por último los días 14 y 21 se asocian a algunos atributos de deterioro como son viejo/rancio, humedad, tierra mojada y quemado por frío.



Gráfica 41. Bigráfico del análisis de componentes principales de los descriptores de la prueba RATA y nivel de agrado del nopal con atmósfera modificada

10. Amaranto

10.1 Generación de descriptores de deterioro



Foto 16. Amaranto

Para generar los descriptores de deterioro de prueba RATA (Rate-all-that apply), se les pidió a 30 consumidores que evaluaran el producto con distintos tiempos de almacenamiento enfocándose en la parte visual, olor y sabor, y se les solicitó que anotaran todas las palabras que fueran adecuadas para describir el producto. Se añadió una escala 5 puntos (Nada, ligeramente, moderadamente, mucho y extremadamente) para que los consumidores evaluaran la intensidad de cada atributo propuesto.

Se obtuvieron 72 atributos iniciales, a éstos se les aplicó una depuración de términos similares y posteriormente un cálculo de media geométrica.

10.1.1 Media geométrica

De acuerdo a los resultados de la media geométrica se depuró la lista inicial obteniéndose sólo 33 atributos que fueron significativos (generándose la prueba final RATA: Rate all-that-apply). Para la parte visual se obtuvieron 16 atributos, 11 para la evaluación de olor y 6 atributos para la evaluación de sabor.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Los atributos para el cuestionario final son los siguientes:

Cuadro 21. Atributos finales para la prueba RATA de amaranto

	VISUAL	OLOR	SABOR
#	Descriptor		
1	Amarillo	Vainilla	Dulce /caramelo
2	Color café/ocre	Dulce/caramelo	Amargo
3	Presencia de puntos negros	Miel	Crujiente
4	Color blanco	Tostado	Suave
5	Opaco	Cereales/granos/semillas	Seco
6	Uniformidad en color	Mantequilla	Consistencia correosa
7	Tostado	Alegría	---
8	Acaramelado	Polvo	---
9	Granulado	Rancio	---
10	Pegajoso	Humedad	---
11	Crujiente	Olor a guardado	---
12	Fresco	---	---
13	Esponjoso	---	---
14	Firme	---	---
15	Ligero	---	---
16	Granos aglomerados	---	---

10.2 Diseño de pruebas

La prueba de amaranto consistió en 2 fases: una evaluación a temperatura ambiente (simulando un almacenamiento normal en el hogar) y una evaluación con el producto almacenado en cámara ambiental con humedad y temperatura controladas.

El diseño de la prueba a temperatura ambiente es el siguiente:

Cuadro 22. Diseño de la prueba de amaranto almacenado a temperatura ambiente

Diseño de prueba de amaranto almacenado a temperatura ambiente		
Factor	Almacenamiento	Temperatura ambiente (20-25°C)
	Producto	Amaranto inflado sabor vainilla, marca Dulcerel.
	Tiempos de almacenamiento	Cada mes a partir de la fecha de inicio de almacenamiento
	# consumidores	70-80 por cada tiempo
	Metodología	Current status (Tiempos actuales)
	Fecha de inicio	Diciembre, 2015



Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

El diseño de la prueba almacenado en cámara ambiental se muestra en el cuadro siguiente:

Cuadro 23. Diseño de la prueba de amaranto almacenado en cámara ambiental

Diseño de prueba de amaranto almacenado en cámara ambiental		
Factor	Almacenamiento	Cámara Ambiental Bioclimática A50620
	Producto	Amaranto inflado sabor vainilla, marca Dulcerel.
	Condiciones de humedad	40%
	Condiciones de temperatura	50°C
	Tiempos de almacenamiento	Cada 15 días aproximadamente
	# consumidores	70-80 por cada tiempo
	Metodología	Current status (Tiempos actuales)
	Fecha de inicio	Abril, 2016



10.3 Metodología

La metodología de las evaluaciones del amaranto consistió en preparar las muestras dentro de envases transparentes con tapa, para aproximadamente 70-80 consumidores en cada tiempo de evaluación. La metodología de aplicación de las pruebas para cada tipo de almacenamiento fue la siguiente:



Figura 17. Metodología de aplicación de pruebas de amaranto

A los consumidores se les pidió que primero evaluaran la parte visual del producto, posteriormente que abrieran el envase para evaluar el olor y finalmente probaran

el producto para evaluar el sabor. El cuestionario utilizado se muestra en el ANEXO VII.

10.4 Resultados. Pruebas de amaranto

Se tienen los resultados de 10 evaluaciones para cada tratamiento. El tiempo 9 del tratamiento a temperatura ambiente corresponde a 294 días de almacenamiento, mientras que para el tratamiento dentro de la cámara ambiental, el tiempo 9 corresponde a 172 días de almacenamiento. Se entrevistaron a 764 consumidores para el tratamiento a temperatura ambiente (20°C) y 779 para el tratamiento dentro de la cámara ambiental. El cuadro siguiente muestra los tiempos de evaluaciones para cada tratamiento:

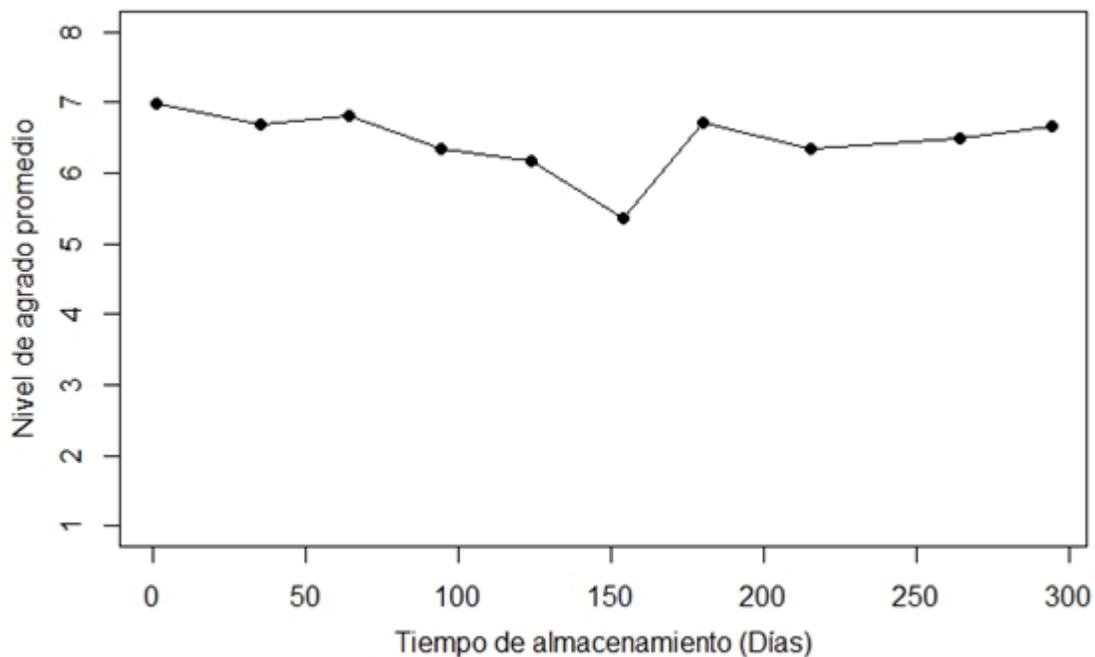
Cuadro 24. Tiempos de almacenamiento para los tratamientos de amaranto

Temperatura ambiente		Cámara ambiental	
Tiempo (días)	Tiempo	Tiempo (días)	Tiempo
1	0	1	0
35	1	15	1
64	2	32	2
94	3	45	3
124	4	58	4
154	5	78	5
180	6	93	6
215	7	109	7
264	8	142	8
294	9	172	9

10.4.1 Prueba hedónica

En las gráficas siguientes se muestran los resultados de la prueba hedónica para ambos tratamientos: almacenamiento a temperatura ambiente y almacenamiento en cámara ambiental.

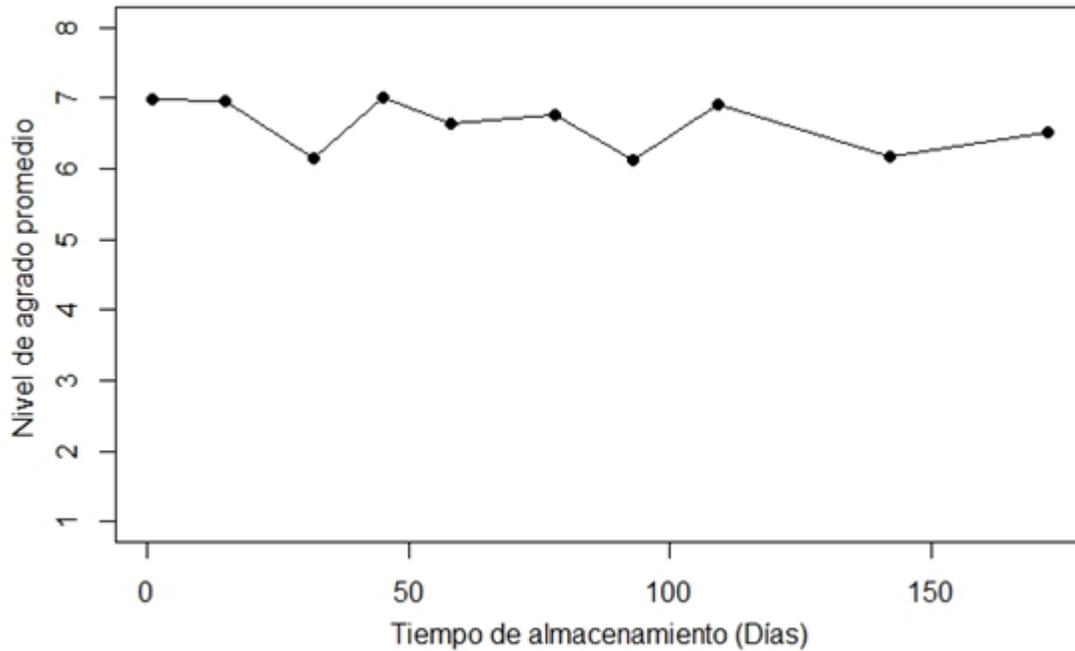
a. Temperatura ambiente



Gráfica 42. Nivel de agrado promedio vs tiempo de almacenamiento del amaranto a temperatura ambiente.

En el nivel de agrado promedio se observó una ligera disminución conforme pasa el tiempo, para el día 154 hubo una disminución muy acentuada del nivel de agrado; sin embargo, éste se incrementó nuevamente en el día 180. Los valores obtenidos fueron 6.98, 6.68, 6.82, 6.33, 6.16, 5.36, 6.72, 6.35, 6.5 y 6.65 para los tiempos 1, 35, 64, 94, 124, 154, 180, 215, 264 y 294 respectivamente.

b. Cámara ambiental



Gráfica 43. Nivel de agrado promedio vs tiempo de almacenamiento del amaranto en cámara ambiental.

El nivel de agrado promedio se mantuvo constante durante todos los días de prueba (entre 6-7) en un rango de “Me gustó un poco” y “Me gustó”. Los valores obtenidos fueron 6.99, 6.95, 6.14, 7.01, 6.63, 6.76, 6.11, 6.9, 6.17 y 6.52 para los tiempos 1, 15, 32, 45, 58, 78, 93, 109, 142 y 172 respectivamente.

10.4.2 Prueba de aceptación

a. Temperatura ambiente

El cuadro siguiente muestra los resultados de la prueba de aceptación a lo largo del tiempo de almacenamiento del amaranto almacenado a temperatura ambiente.

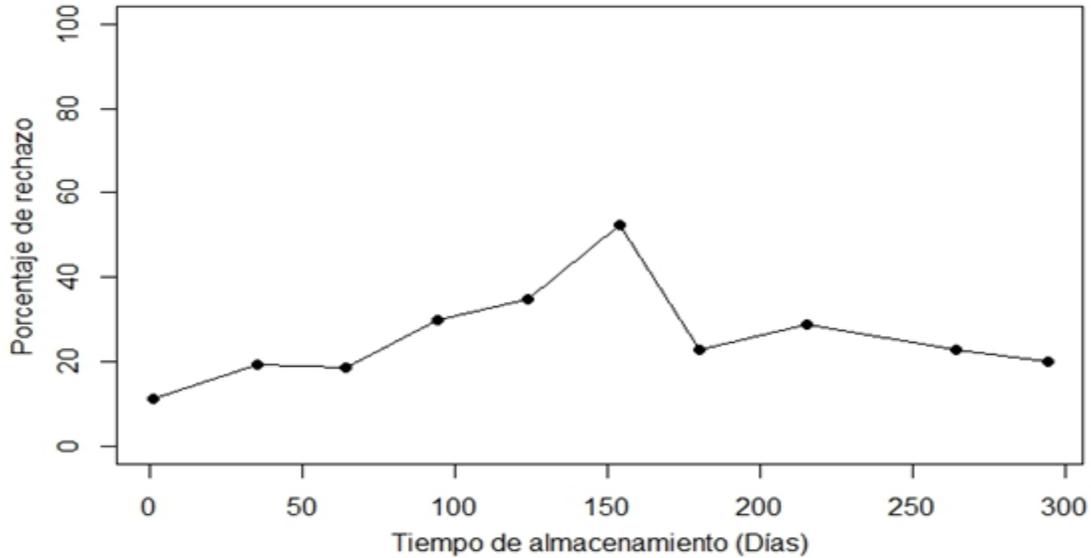
Cuadro 25. Resultados de la prueba de aceptación de amaranto almacenado a temperatura ambiente.

Tiempo	Tiempo (días)	Consumidores	Rechazo	% Rechazo	N.A.
0	1	80	9	11.25	6.9
1	35	72	14	19.44	6.6
2	64	80	15	18.75	6.8
3	94	80	24	30.00	6.3
4	124	72	25	34.72	6.1
5	154	80	42	52.50	5.3
6	180	70	16	22.86	6.7
7	215	80	23	28.75	6.3
8	264	70	16	22.86	6.5
9	294	80	16	20.00	6.6

En la tabla se observa que el 88.75% de las personas entrevistadas aceptaron la muestra fresca, conforme aumenta el tiempo de almacenamiento se observó un incremento en el rechazo de los consumidores, para el tiempo 5 el porcentaje de rechazo llegó al 52.5%; sin embargo, en los siguientes tiempos el porcentaje disminuyó nuevamente hasta el 20% correspondiente al tiempo 9 de almacenamiento.

La gráfica siguiente muestra el comportamiento del porcentaje de rechazo a lo largo de los tiempos de almacenamiento a temperatura ambiente.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios



Gráfica 44. Porcentaje de rechazo vs tiempo de almacenamiento del amaranto almacenado a temperatura ambiente

b. Cámara ambiental

El cuadro siguiente muestra los resultados de la prueba de aceptación a lo largo del tiempo de almacenamiento del amaranto almacenado en cámara ambiental.

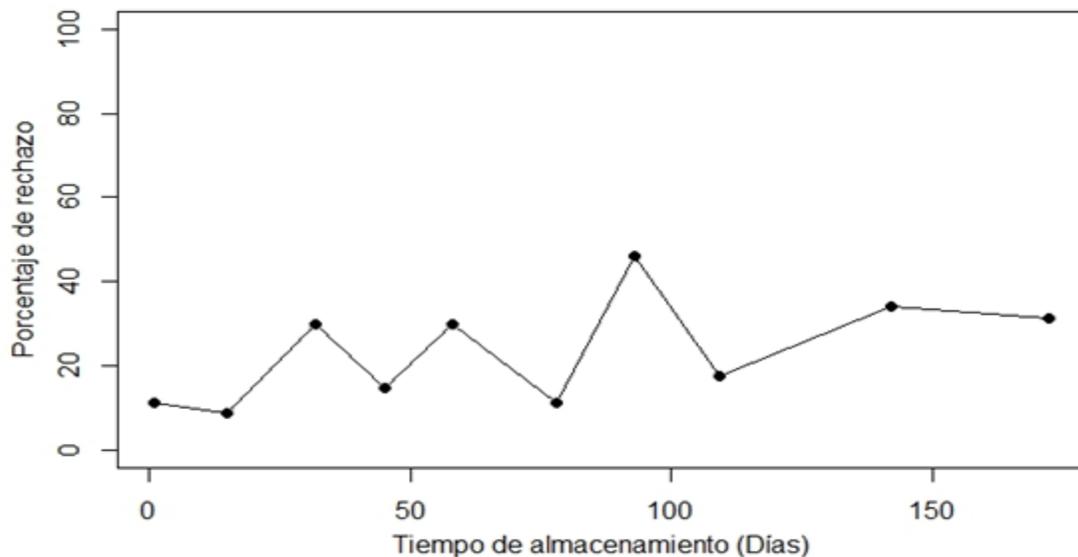
Cuadro 26. Resultados de la prueba de aceptación de amaranto almacenado en cámara ambiental.

Tiempo	Tiempo (días)	Consumidores	Rechazo	% Rechazo	N.A.
0	1	80	9	11.25	6.99
1	15	80	7	8.75	6.95
2	32	80	24	30	6.14
3	45	80	12	15	7.01
4	58	70	21	30	6.63
5	78	79	9	11.39	6.76
6	93	80	37	46.25	6.11
7	109	80	14	17.5	6.9
8	142	70	24	34.29	6.17
9	172	80	25	31.25	6.5

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Conforme aumentó el tiempo de almacenamiento se observó un incremento en el rechazo de los consumidores, para el tiempo 2 el porcentaje de rechazo llegó al 30%; sin embargo, en los siguientes tiempos el porcentaje disminuyó y posteriormente aumentó. No se observó una tendencia clara en el porcentaje de rechazo a lo largo del almacenamiento.

La gráfica siguiente muestra el comportamiento del porcentaje de rechazo a lo largo de los tiempos de almacenamiento en cámara ambiental.



Gráfica 45. Porcentaje de rechazo vs tiempo de almacenamiento del amaranto almacenado en cámara ambiental

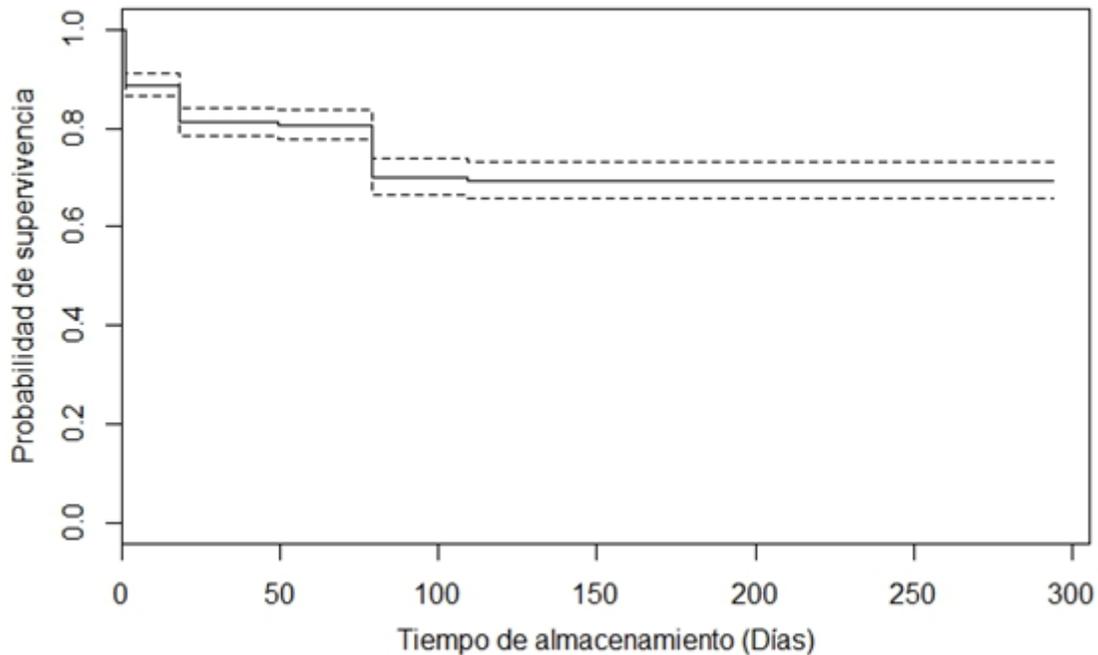
10.4.3 Ajuste de datos de supervivencia (Estimador Kaplan-Meier). Censura por izquierda y censura por derecha

Se realizó el ajuste por medio del estimador Kaplan-Meier, estos resultados se muestran en los cuadros y gráficas siguientes, donde para cada tiempo de almacenamiento ajustado se observan los datos que se encuentran en riesgo de rechazo, y la probabilidad de que no sean rechazados. Las gráficas muestran la misma tendencia.

a. Temperatura ambiente

Cuadro 27. Ajuste de datos de supervivencia mediante el estimador Kaplan-Meier del amaranto almacenado a temperatura ambiente

Tiempo ajustado	Datos en riesgo	Probabilidad de supervivencia	Intervalos de confianza (95%)
18	607	0.813	0.785-0.842
49.5	498	0.806	0.778-0.836
79	429	0.701	0.666-0.738
109	317	0.694	0.659-0.732
139	267	0.694	0.659-0.732

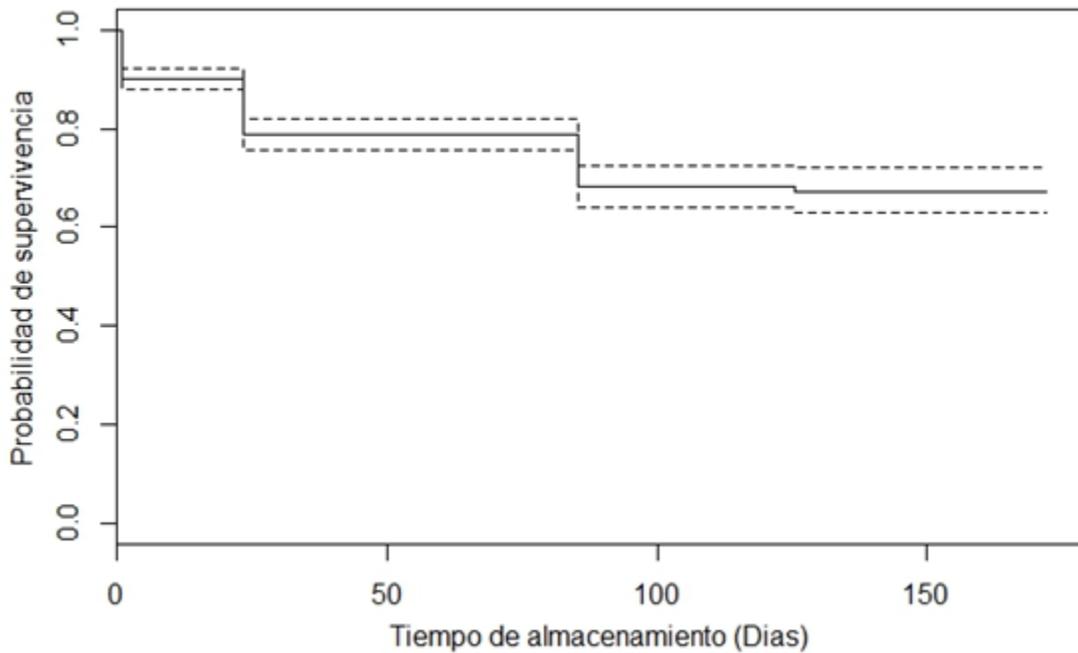


Gráfica 46. Curva de supervivencia Kaplan-Meier del amaranto almacenado a temperatura ambiente

b. Cámara ambiental

Cuadro 28. Ajuste de datos de supervivencia mediante el estimador Kaplan-Meier del amaranto almacenado en cámara ambiental

Tiempo ajustado	Datos en riesgo	Probabilidad de supervivencia	Intervalos de confianza (95%)
8	631	0.899	0.878-0.920
23.5	556	0.786	0.756-0.818
38.5	431	0.786	0.756-0.818
51.5	363	0.786	0.756-0.818
68	314	0.786	0.756-0.818
85.5	244	0.681	0.640-0.726
101	168	0.681	0.640-0.726
125.5	102	0.673	0.630-0.720
157	55	0.673	0.630-0.720



Gráfica 47. Curva de supervivencia Kaplan-Meier del amaranto almacenado en cámara ambiental

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Para ambos tratamientos los porcentajes de rechazo por parte de los consumidores no alcanzaron el 50%, a pesar de los largos tiempos de almacenamiento, por lo que el estimado Kaplan Meier no brindó probabilidades de supervivencia menores del 0.50, y por lo tanto la probabilidad después del último día de evaluación se mantuvo constante alrededor de 0.60.

10.4.4 Comparación de métodos probabilísticos

10.4.4.1 Ajuste de los modelos

Se realizó el ajuste y la obtención de los parámetros de cada modelo probabilístico por medio del método de máxima verosimilitud. Los cuadros siguientes muestran los parámetros obtenidos de cada modelo (escala y forma), así como sus valores de verosimilitud.

a. Temperatura ambiente

Cuadro 29. Parámetros de escala y forma de los modelos probabilísticos del amaranto almacenado a temperatura ambiente

Distribución	Parámetro escala	Parámetro forma	Log-verosimilitud	Verosimilitud
Weibull	73130.44	0.1790	-433.1	8.07×10^{-189}
Lognormal	9.86	2.13	-432.90	9.86×10^{-189}
Loglogística	9.57	1.59	-432.99	9.01×10^{-189}

La distribución lognormal presentó mayores valores de verosimilitud, seguida de la loglogística y por último la distribución weibull, sin embargo sus valores se encuentran muy cercanos entre sí.

a. Cámara ambiental

Cuadro 30. Parámetros de escala y forma de los modelos probabilísticos del amaranto almacenado en cámara ambiental

Distribución	Parámetro escala	Parámetro forma	Log-verosimilitud	Verosimilitud
Weibull	6247.89	0.2752	-413.7	2.14×10^{-180}
Lognormal	8.26	1.79	-413.9	1.76×10^{-180}
Loglogística	7.83	1.19	-413.8	1.94×10^{-180}

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

La distribución weibull presentó mayores valores de verosimilitud, seguida de la loglogística y por último la distribución lognormal, y al igual que en el almacenamiento a temperatura ambiente, los valores se encuentran muy cercanos entre sí.

10.4.4.2 Vida media

A partir de los parámetros obtenidos se calculó el valor de la vida media para cada distribución y para cada tratamiento (temperatura ambiente y cámara ambiental). Estos resultados se muestran en los siguientes cuadros:

a. Temperatura ambiente

Cuadro 31. Vida media y varianza de las distribuciones para el amaranto almacenado a temperatura ambiente

Distribución	Vida media	Varianza
Weibull	9395	164179
Lognormal	191151	450761
Loglogística	14366	312573

b. Cámara ambiental

Cuadro 32. Vida media y varianza de las distribuciones para el amaranto almacenado en cámara ambiental

Distribución	Vida media	Varianza
Weibull	1652.35	8851.92
Lognormal	3859.76	31333.82
Loglogística	2523.26	17082.77

Para ningún tratamiento se llegó al 50% de rechazo por parte de los consumidores, por lo que los datos de vida media que nos arrojan los análisis son extremadamente elevados.

10.4.4.3 Comparación mediante el criterio de información de Akaike (AIC)

Se evaluó el criterio de información Akaike, los resultados de este criterio para cada distribución son los siguientes:

a. Temperatura ambiente

Cuadro 33. Valores del Criterio de Información Akaike (AIC) para el amaranto almacenado a temperatura ambiente

Modelo	AIC
Weibull	870.17
Lognormal	869.84
Loglogístico	869.99

b. Cámara ambiental

Cuadro 34. Valores del Criterio de Información Akaike (AIC) para el amaranto almacenado en cámara ambiental

Modelo	AIC
Weibull	831.32
Lognormal	831.87
Loglogístico	831.52

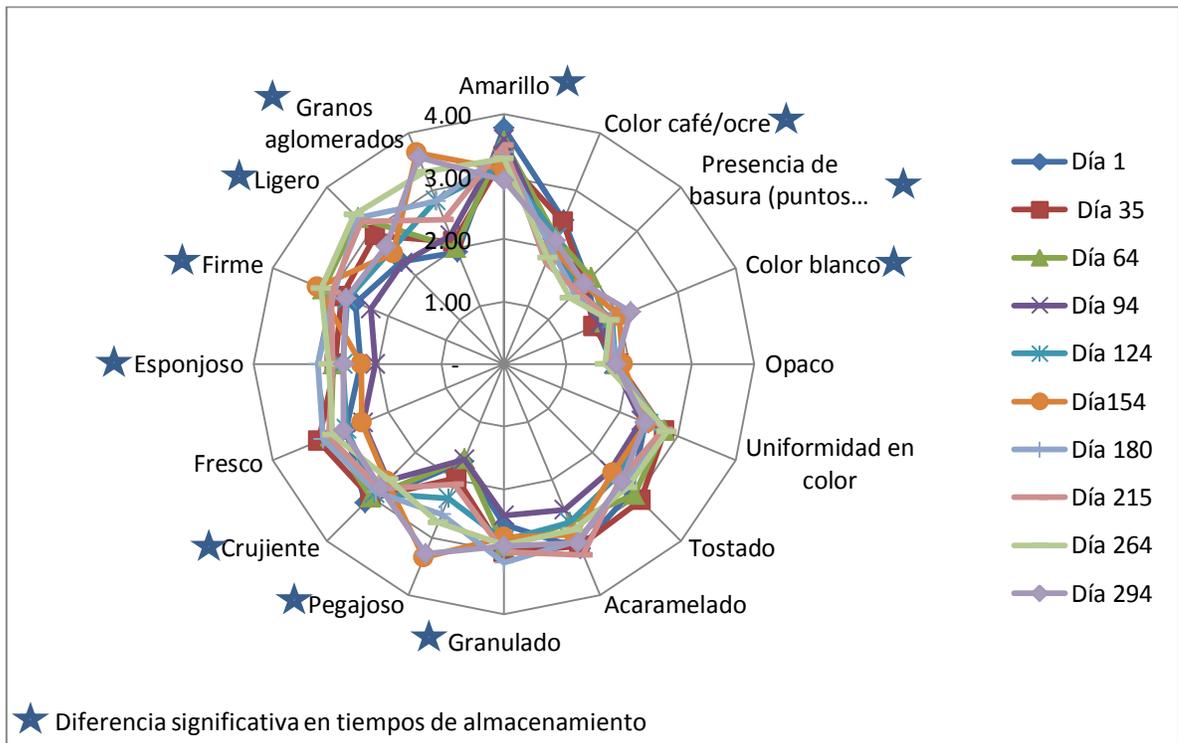
Este criterio indica que la distribución que obtenga un menor valor entre un conjunto de distribuciones tendrá un mejor ajuste de los datos. En los resultados a temperatura ambiente la distribución lognormal es la que mostró un mejor ajuste mientras que para el amaranto almacenado en cámara ambiental, la distribución que mejor ajustó a los datos es la weibull.

El AIC y el valor log-verosimilitud no nos indican si los datos de supervivencia iniciales se ajustan a los modelos propuestos, ya que las comparaciones se realizan sólo entre los 3 modelos; sin embargo, debido a que no se alcanzó al 50 % de rechazo del producto por parte de los consumidores, el valor de vida media obtenido para ambos tratamientos fue sumamente elevado y no confiables, por lo que no se realizaron validaciones, ni pruebas de bondad de ajuste.

10.4.5 Perfil de deterioro

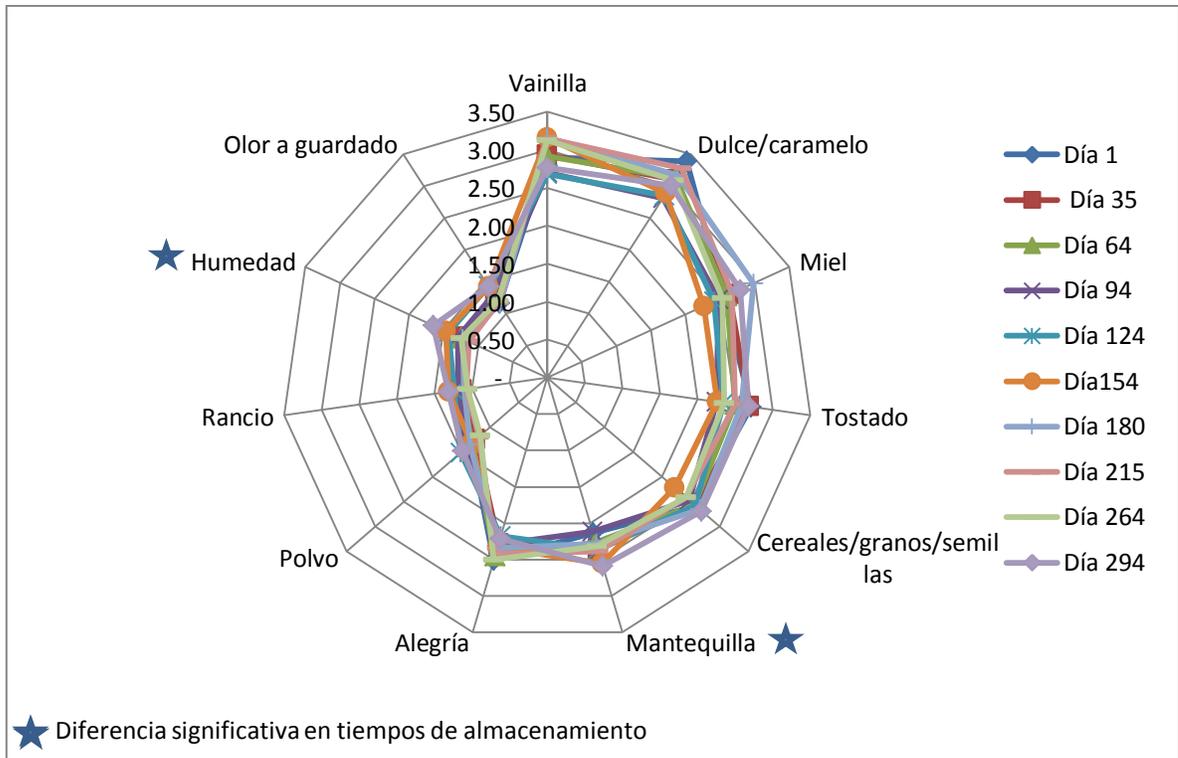
En las gráficas siguientes se muestran los perfiles de deterioro del amaranto para la parte visual, olor y sabor de cada tratamiento, donde se observan perfiles similares para cada tiempo de evaluación (en su respectivo tratamiento).

a. Temperatura ambiente

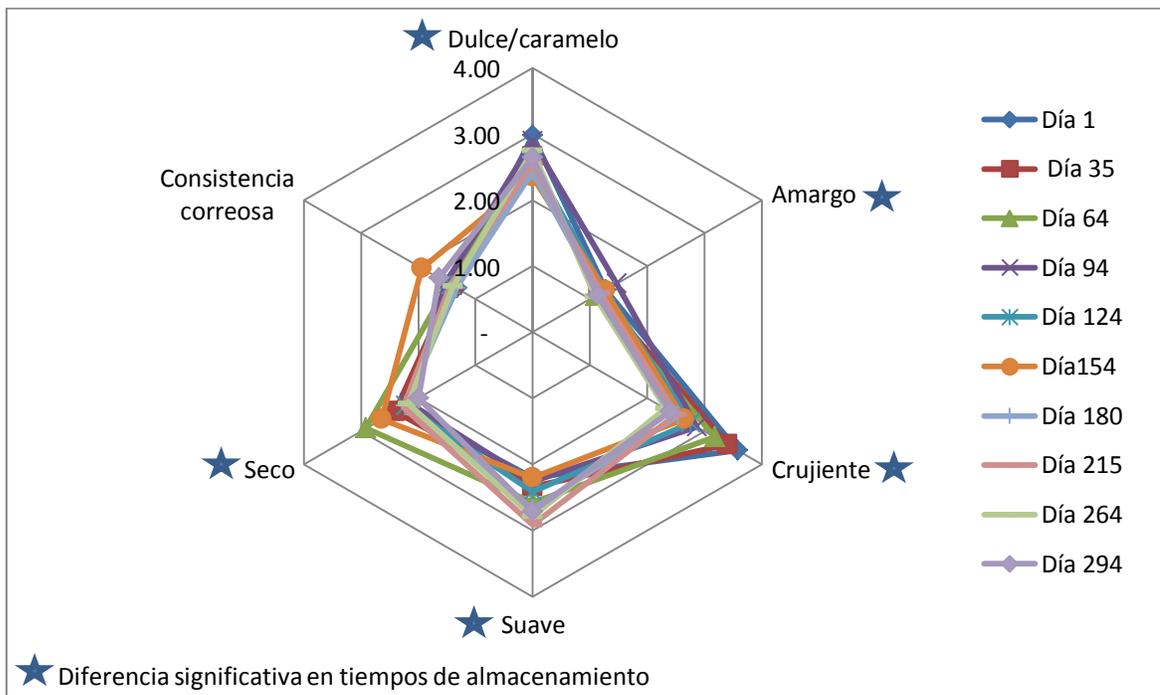


Gráfica 48. Perfil de deterioro visual de la prueba RATA del amaranto almacenado a temperatura ambiente

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

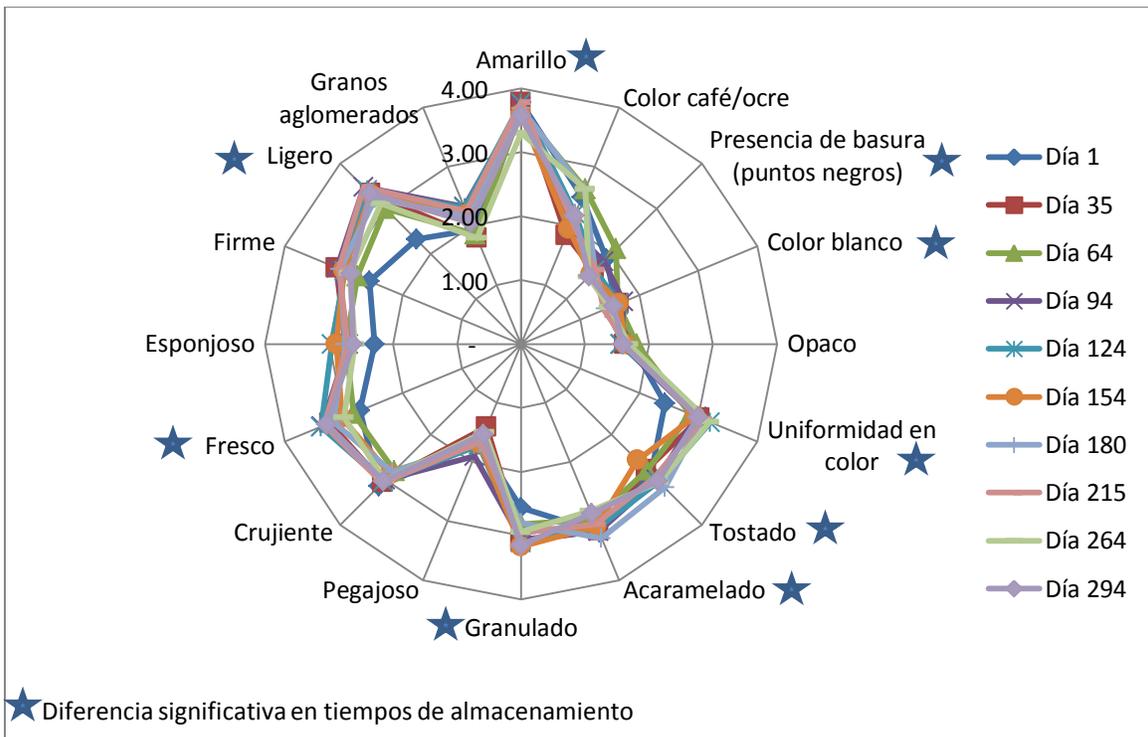


Gráfica 49. Perfil de deterioro de olor de la prueba RATA del amaranto almacenado a temperatura ambiente

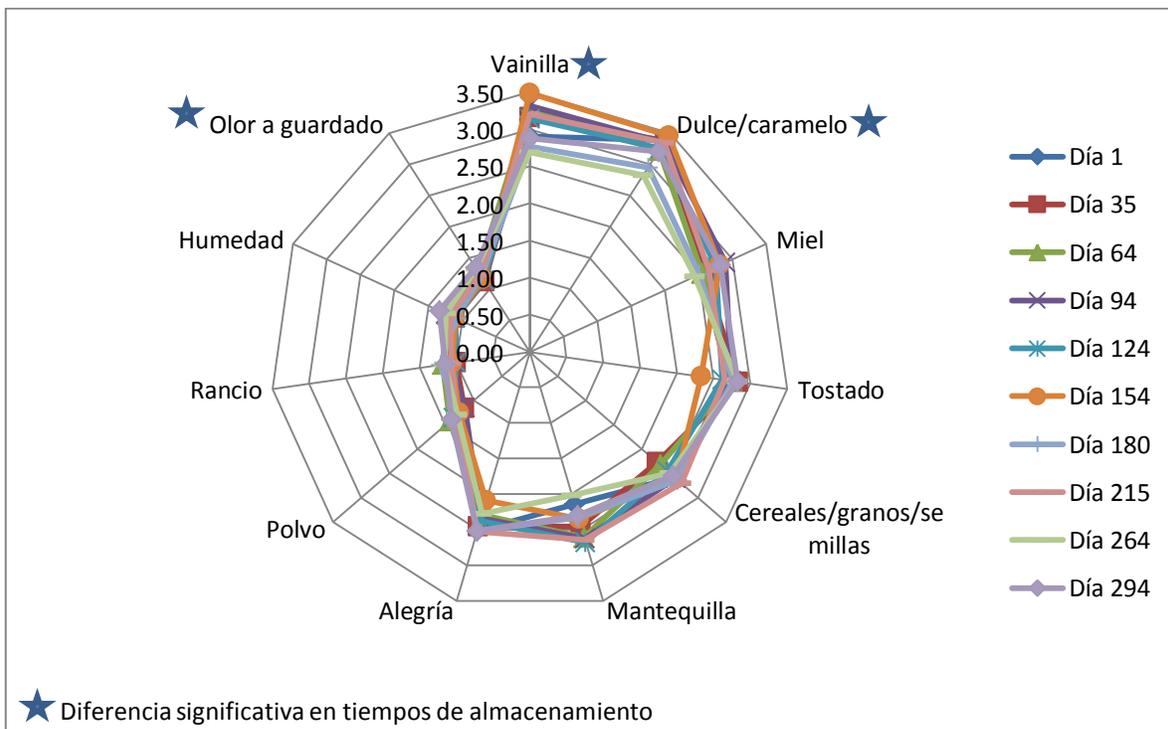


Gráfica 50. Perfil de deterioro de sabor de la prueba RATA del amaranto almacenado a temperatura ambiente

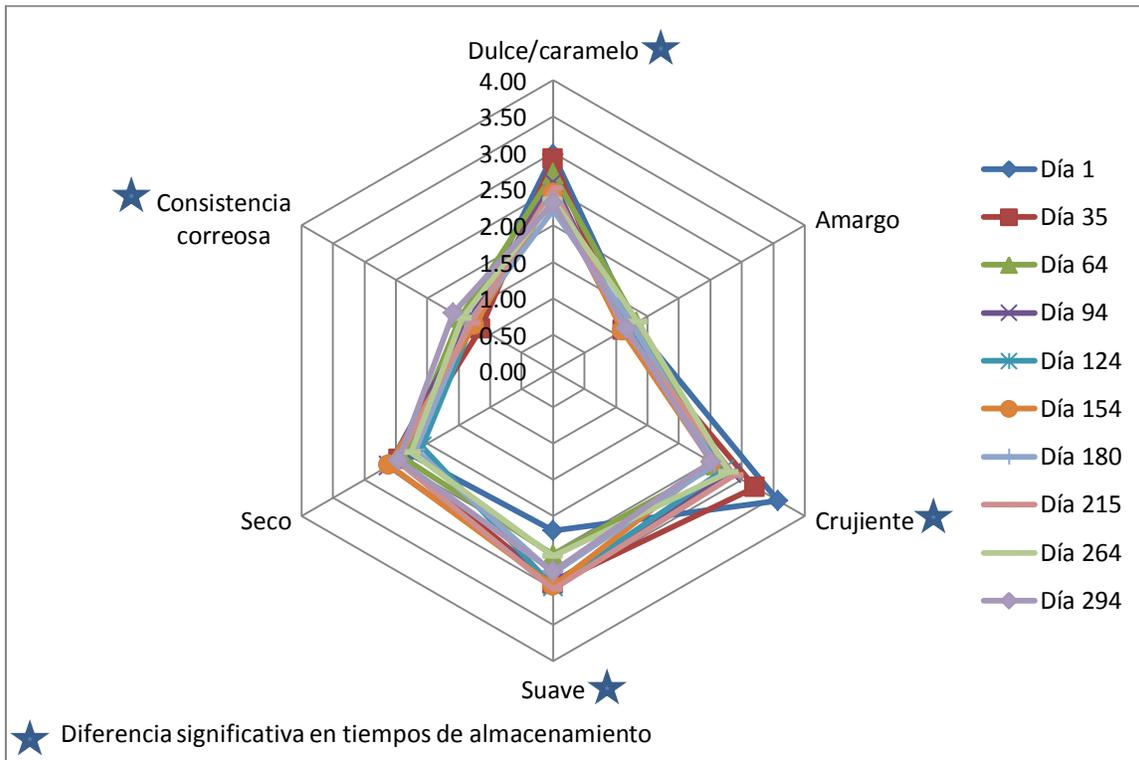
b. Cámara ambiental



Gráfica 51. Perfil de deterioro visual de la prueba RATA del amaranto almacenado en cámara ambiental



Gráfica 52. Perfil de deterioro de olor de la prueba RATA del amaranto almacenado en cámara ambiental



Gráfica 53. Perfil de deterioro de sabor de la prueba RATA del amaranto almacenado en cámara ambiental

Se elaboraron ANOVAS para conocer los atributos que presentaron diferencias significativas en el tiempo de almacenamiento para cada tratamiento. Estos resultados se muestran en los cuadros siguientes:

a. Temperatura ambiente

Cuadro 35. ANOVAS del perfil visual, olor y sabor del amaranto almacenado a temperatura ambiente durante 294 días

	Descriptor	Tiempo
VISUAL	Amarillo	1.24E-06
	Color café/ocre	5.15E-08
	Presencia de basura (puntos negros)	0.0036
	Color blanco	3.23E-10
	Opaco	0.499
	Uniformidad en color	0.577
	Tostado	0.132
	Acaramelado	0.532
	Granulado	0.0446
	Pegajoso	2.00E-16
	Crujiente	0.00247
	Fresco	0.777
	Esponjoso	0.0135
	Firme	0.0187
	Ligero	0.000597
	Granos aglomerados	2.00E-16
OLOR	Vainilla	0.182
	Dulce/caramelo	0.416
	Miel	0.142
	Tostado	0.469
	Cereales/granos/semillas	0.766
	Mantequilla	0.0273
	Alegría	0.603
	Polvo	0.868
	Rancio	0.541
	Humedad	0.0359
	Olor a guardado	0.441
SABOR	Dulce/caramelo	0.00977
	Amargo	0.0394
	Crujiente	2.00E-16
	Suave	3.12E-07
	Seco	0.00475
	Consistencia correosa	0.11
	Nivel de agrado	0.0172

*Valores menores a 0.1 en *P-value* muestran diferencia significativa (números en negritas)

b. Cámara ambiental

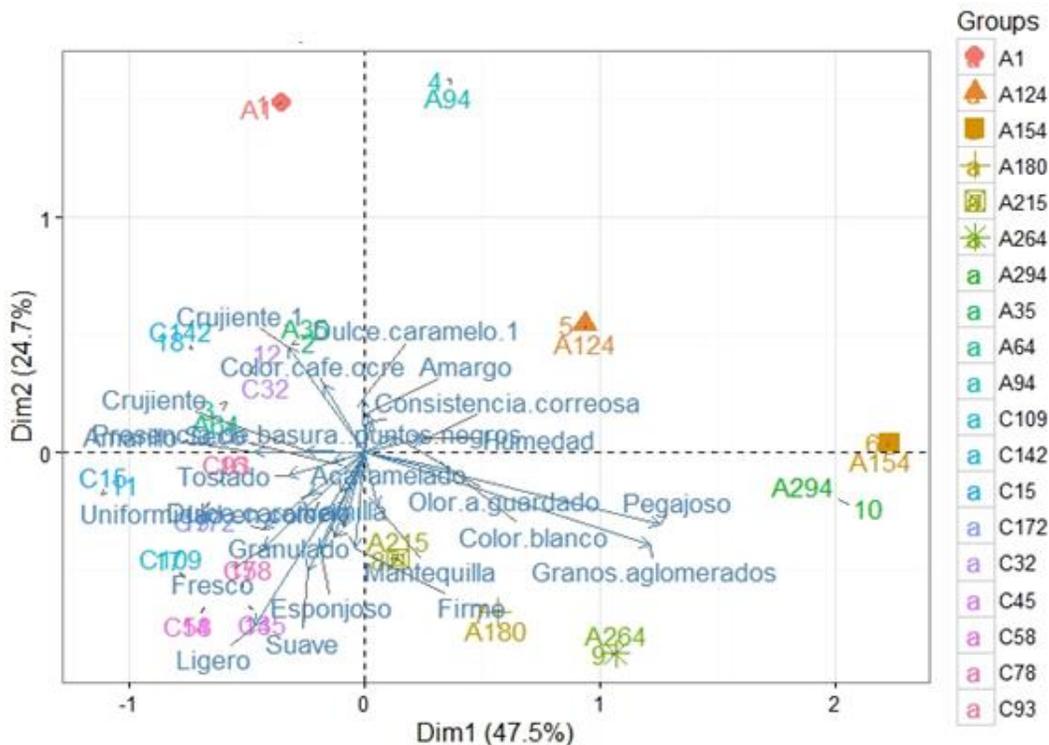
Cuadro 36. ANOVAS del perfil visual, olor y sabor del amaranto almacenado en cámara ambiental durante 172 días

	Descriptor	Tiempo
VISUAL	Amarillo	0.0106
	Color café/ocre	0.522
	Presencia de basura (puntos negros)	1.36E-07
	Color blanco	0.0034
	Opaco	0.407
	Uniformidad en color	0.000243
	Tostado	0.036
	Acaramelado	0.0343
	Granulado	0.0723
	Pegajoso	0.431
	Crujiente	0.798
	Fresco	0.0217
	Esponjoso	0.344
	Firme	0.218
	Ligero	8.06E-05
	Granos aglomerados	0.227
	OLOR	Vainilla
Dulce/caramelo		0.00394
Miel		0.61
Tostado		0.952
Cereales/granos/semillas		0.132
Mantequilla		0.317
Alegría		0.898
Polvo		0.444
Rancio		0.164
Humedad		0.174
Olor a guardado		0.0149
SABOR	Dulce/caramelo	2.78E-11
	Amargo	0.912
	Crujiente	9.31E-11
	Suave	0.0204
	Seco	0.994
	Consistencia correosa	0.0157
	Nivel de agrado	0.00312

*Valores menores a 0.1 en *P-value* muestran diferencia significativa (números en negritas)

10.4.5.1 Análisis de componentes principales de los datos conjuntos del amaranto almacenado a temperatura ambiente y en cámara ambiental

Al realizarse el análisis de componentes principales se utilizaron sólo los atributos que resultaron significativos en los ANOVAS para tiempo de almacenamiento. El código utilizado en la gráfica es A=temperatura ambiente + días de almacenamiento y C=cámara ambiental + días de almacenamiento. Los productos almacenados a temperatura ambiente (A), se posicionaron del lado derecho del eje x junto con los atributos “pegajoso” y “granos aglomerados”, mientras que los productos almacenados en cámara ambiental (C) se posicionaron del lado izquierdo del eje x junto con los atributos como “dulce”, “crujiente”, “fresco”. Este método fue capaz de separar ambos almacenamientos junto con los atributos que resultaron significativos, en este caso, los atributos “pegajoso” y “aglomerado” lograron separar los productos del tratamiento a temperatura ambiente de los productos de cámara ambiental, los cuales se detectaron como “crujiente”, “tostado”, “fresco”.



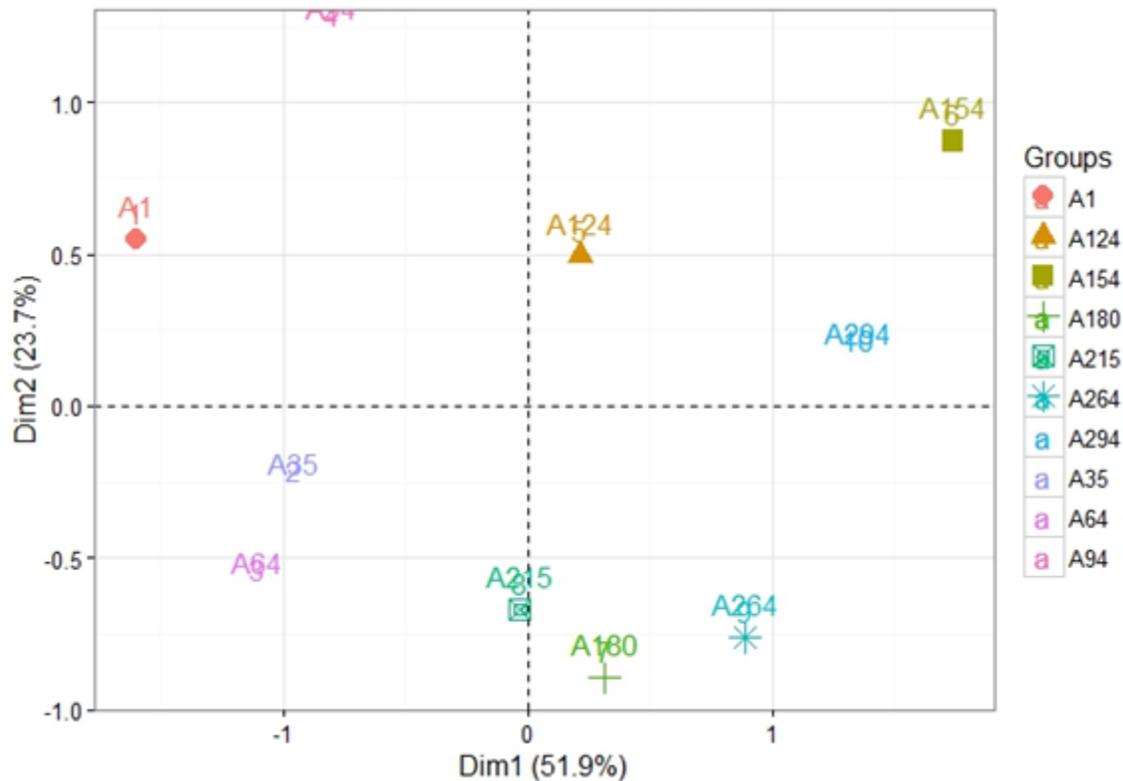
Gráfica 54. Bigráfico del análisis de componentes principales de los descriptores de la prueba RATA con datos conjuntos de amaranto a temperatura ambiente y amaranto en cámara ambiental

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Para un análisis más detallado se separaron los resultados de cada tratamiento, y se anexó el nivel de agrado como un atributo más. Los resultados se muestran en los apartados siguientes.

a. Análisis de componentes principales del amaranto almacenado a temperatura ambiente

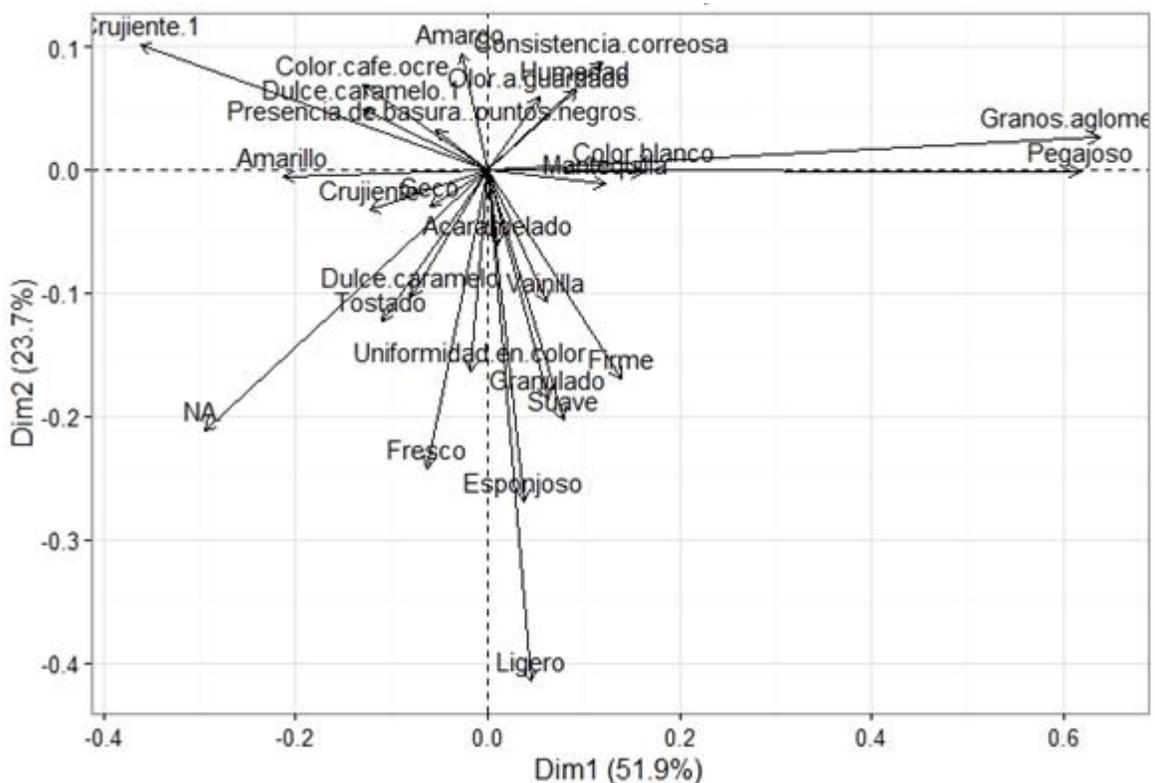
La gráfica siguiente muestra la distribución de los productos almacenados a temperatura ambiente. Del lado izquierdo del eje x se colocaron los productos con menores tiempos de almacenamiento (desde el tiempo 1 hasta el día 94); mientras que en los valores cercanos a 0 y con valores positivos del eje x (del lado derecho) se colocaron los productos con las evaluaciones desde 124 hasta 294 días.



Gráfica 55. Gráfico de productos del análisis de componentes principales del amaranto a temperatura ambiente

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

La gráfica siguiente muestra el acomodo de las variables distribuidas en el plano cartesiano donde se observaron 2 atributos del lado derecho del eje que se alejan del resto: granos aglomerados y pegajoso. Mientras que del lado izquierdo del eje se observaron 2 descriptores que también se alejan del resto: crujiente (para sabor) en la parte superior y el nivel de agrado (que se incluyó como un atributo más) del lado inferior izquierdo.

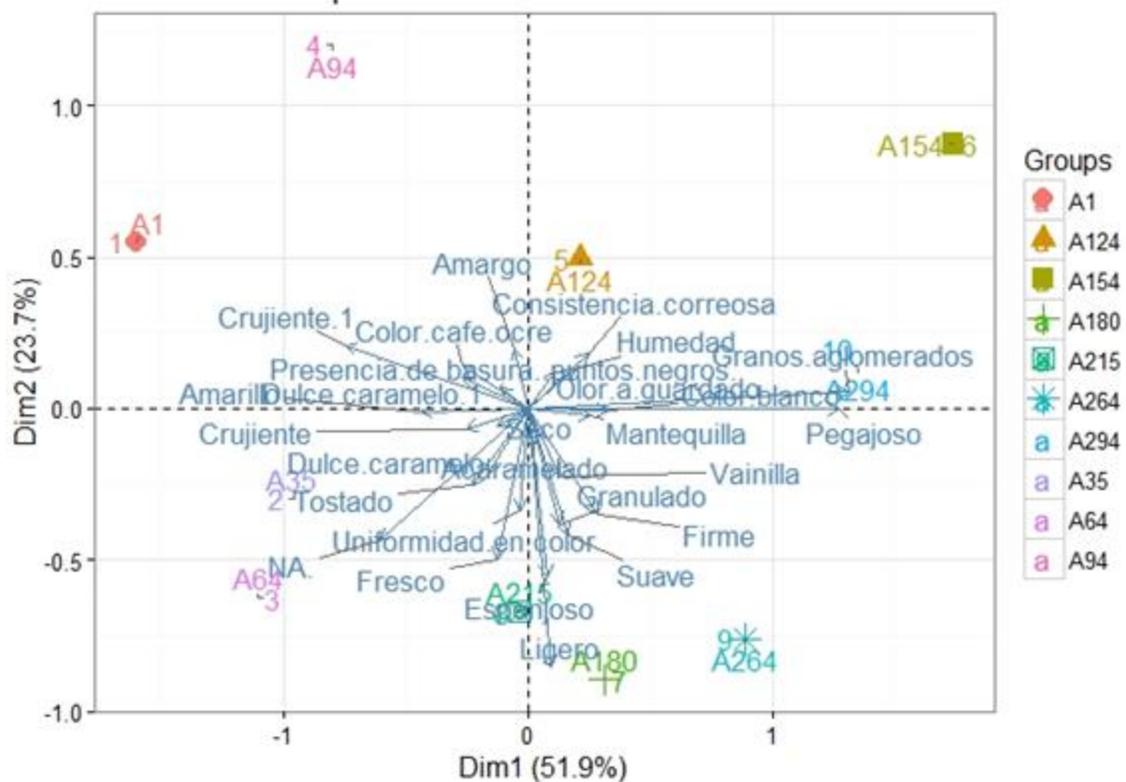


Gráfica 56. Gráfico de atributos del análisis de componentes principales de la prueba RATA y nivel de agrado, del amaranto a temperatura ambiente

La gráfica siguiente muestra la superposición de las 2 gráficas anteriores, es decir, los atributos relacionados con frescura y con deterioro asociados a los productos en los distintos tiempos de evaluación. En este caso los productos almacenados

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

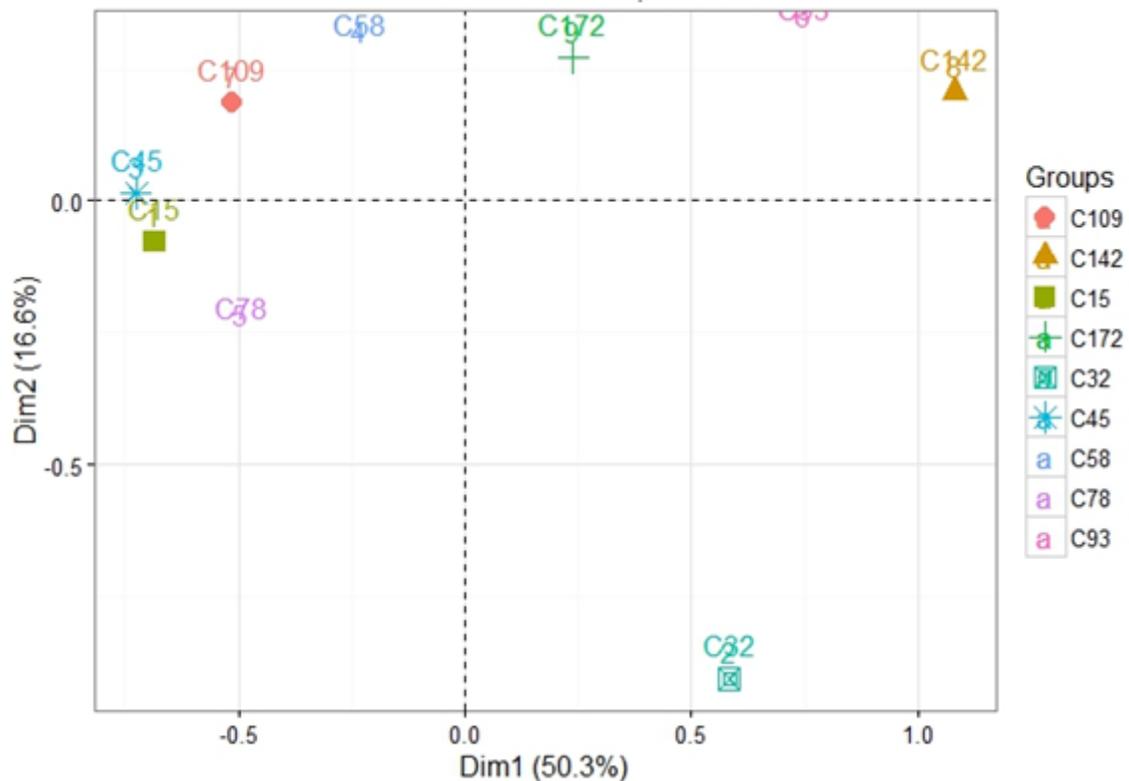
por 1, 35, 64 y 94 días se posicionaron del lado izquierdo del eje x junto con los atributos “crujiente”, “dulce”, “fresco”, “amarillo”, “tostado”, etc., asimismo, el nivel de agrado se encuentra del lado izquierdo por lo que éste se relacionó con la frescura del producto. Los productos intermedios que se encuentran en el centro de la parte superior del plano comienzan a relacionarse con atributos de deterioro: amargo, consistencia correosa, olor a guardado. Del lado derecho del eje x se encuentran nuevamente los atributos “granos aglomerados” y “pegajoso”, los cuales se detectaron como indicadores del deterioro, ya que el producto que se encuentra de ese lado del eje es el almacenado a 294 días, y éste a su vez, se encuentra en el lado opuesto del nivel de agrado, lo que indica que existe relación entre un mayor tiempo de almacenamiento y un menor nivel de agrado.



Gráfica 57. Bigráfico del análisis de componentes principales de la prueba RATA y nivel de agrado del amaranto a temperatura ambiente

b. Análisis de componentes principales del amaranto almacenado en cámara ambiental

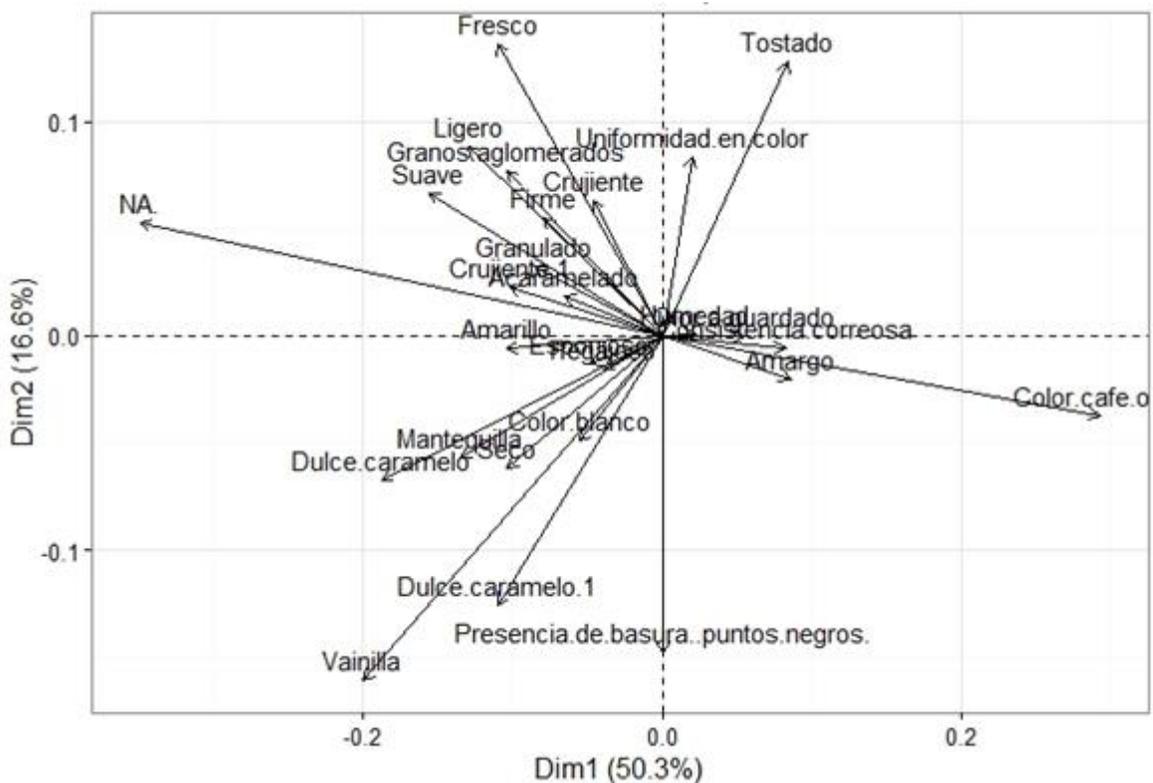
La gráfica siguiente muestra la distribución de los productos almacenados en cámara ambiental. Del lado izquierdo del eje x se colocaron los productos con menores tiempos de almacenamiento; mientras que en los valores del lado derecho del eje x se colocaron los productos con las evaluaciones mayores; sin embargo, no se observó una clara separación de los productos.



Gráfica 58. Gráfico de productos del análisis de componentes principales del amaranto en cámara ambiental

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

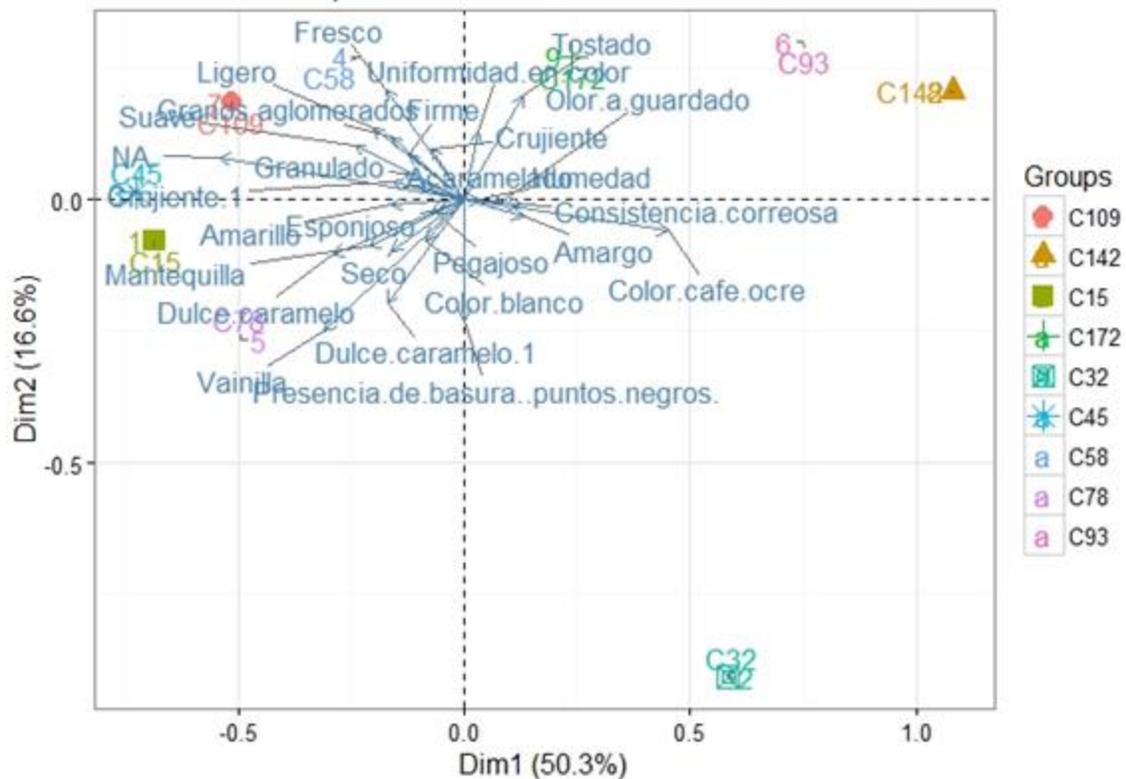
La gráfica siguiente muestra el acomodo de las variables distribuidas en el plano cartesiano donde observamos 1 atributo alejado del resto, del lado derecho del eje x: color café/ocre. Otros atributos que también se posicionaron en este cuadrante fueron olor a guardado, amargo y consistencia correosa, indicando que del lado derecho del eje se posicionaron los atributos de deterioro. Del lado izquierdo del eje se observa el nivel de agrado, por lo que se espera que los productos frescos se acomoden en este cuadrante. Del lado superior izquierdo se tienen los valores de frescura: crujiente, acaramelado o fresco; sin embargo, también se presentó el atributo de granos aglomerados el cual, en el análisis para almacenamiento a temperatura ambiente, apareció como un atributo de deterioro.



Gráfica 59. Gráfico de atributos del análisis de componentes principales de la prueba RATA y nivel de agrado del amaranto en cámara ambiental

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

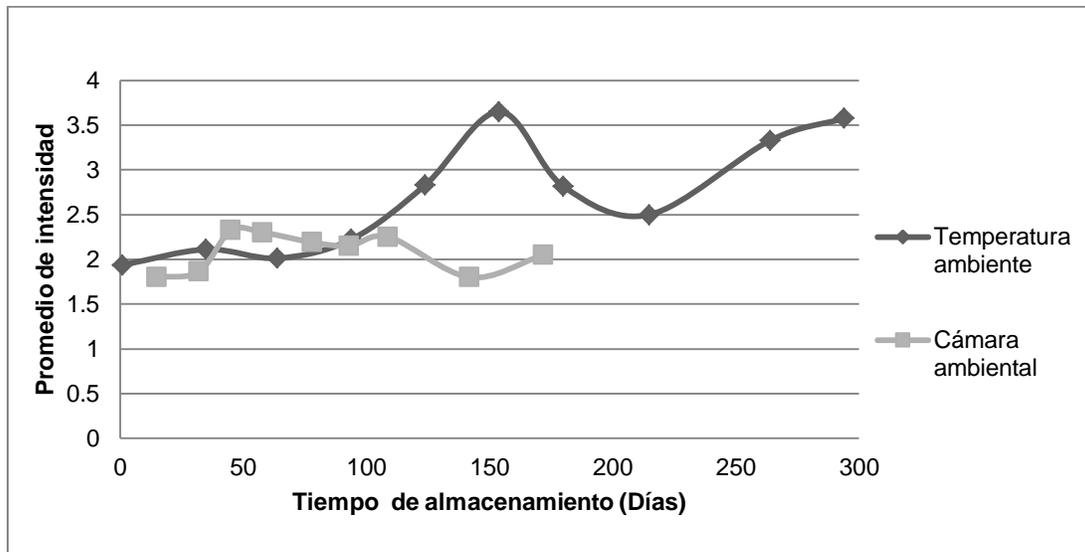
La gráfica siguiente muestra la superposición de las 2 gráficas anteriores, es decir, los atributos relacionados con frescura y con deterioro asociados a los productos en los distintos tiempos de evaluación. En este caso los productos almacenados por menores tiempos de almacenamiento están relacionados en su mayoría, con atributos como el nivel de agrado, fresco, dulce, vainilla, granos aglomerados o crujiente. Los productos con mayor tiempo de almacenamiento están asociados con atributos como: tostado, consistencia correosa, color café/ocre y tienen una relación inversa al nivel de agrado.



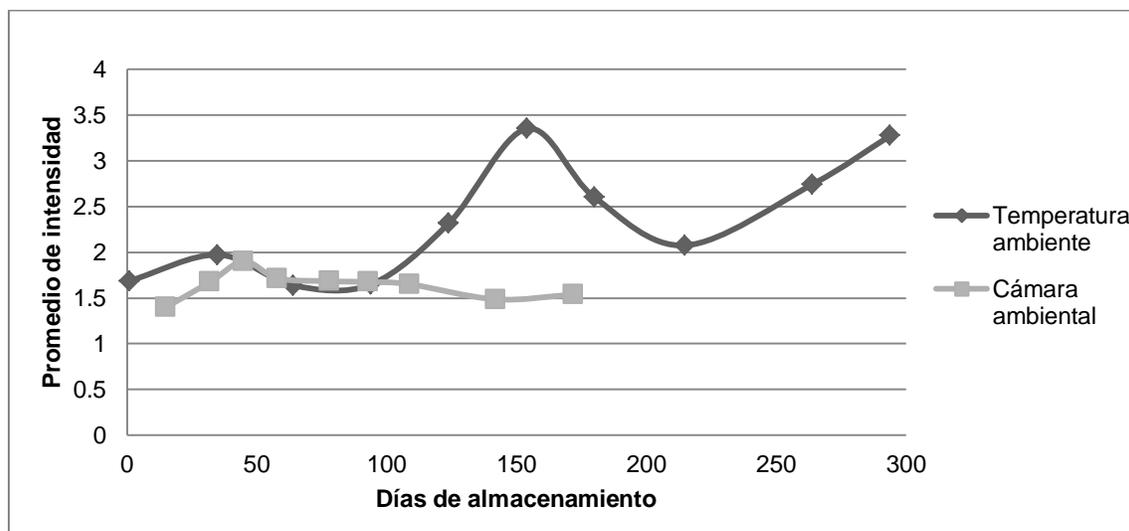
Gráfica 60. Bigráfico del análisis de componentes principales de la prueba RATA y nivel de agrado del amaranto en cámara ambiental

10.4.5.2 Atributos de deterioro del amaranto

Según los resultados anteriores, los atributos que están marcando el deterioro son “pegajoso” y “granos aglomerados” en temperatura ambiente y “tostado” en la cámara ambiental; por lo que se realizaron las gráficas de cada atributo haciendo la comparación de ambos almacenamientos (cámara ambiental y temperatura ambiente).

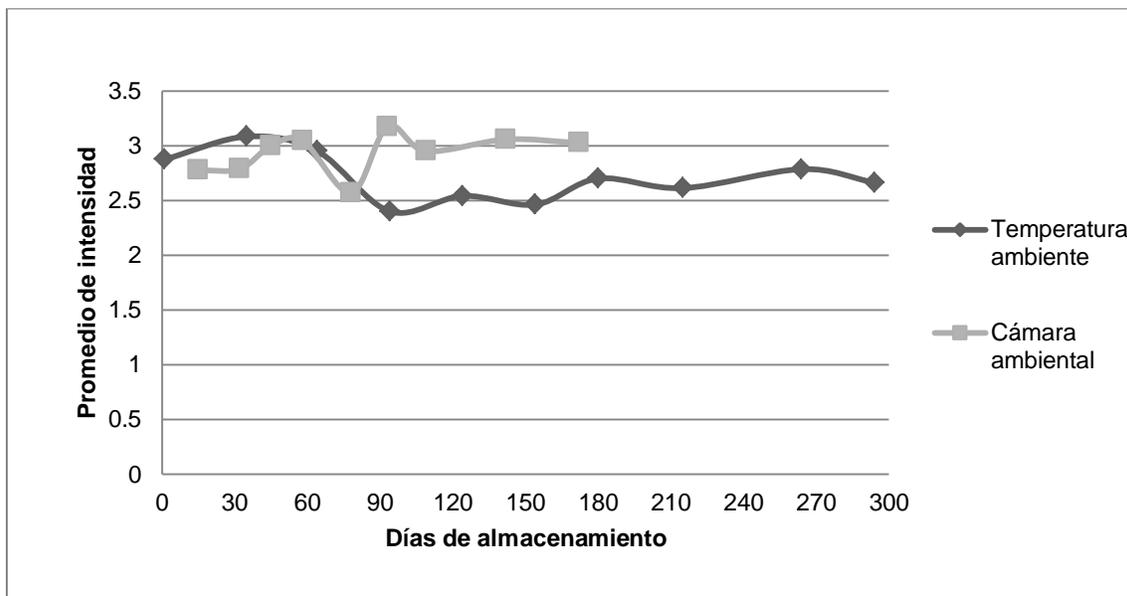


Gráfica 61. Atributo de deterioro: Granos aglomerados para amaranto en temperatura ambiente y cámara ambiental



Gráfica 62. Atributo de deterioro: Pegajoso, para amaranto en temperatura ambiente y cámara ambiental

Ambas gráficas (pegajoso y granos aglomerados) muestran comportamientos similares, donde existió un incremento en cada atributo alrededor de los 150 días para el almacenamiento a temperatura ambiente. Por otro lado, los atributos en el tratamiento de cámara ambiental se incrementaron en los primeros 50 días, y posteriormente, disminuyeron de forma gradual.



Gráfica 63. Atributo de deterioro: Tostado, para amaranto en temperatura ambiente y cámara ambiental

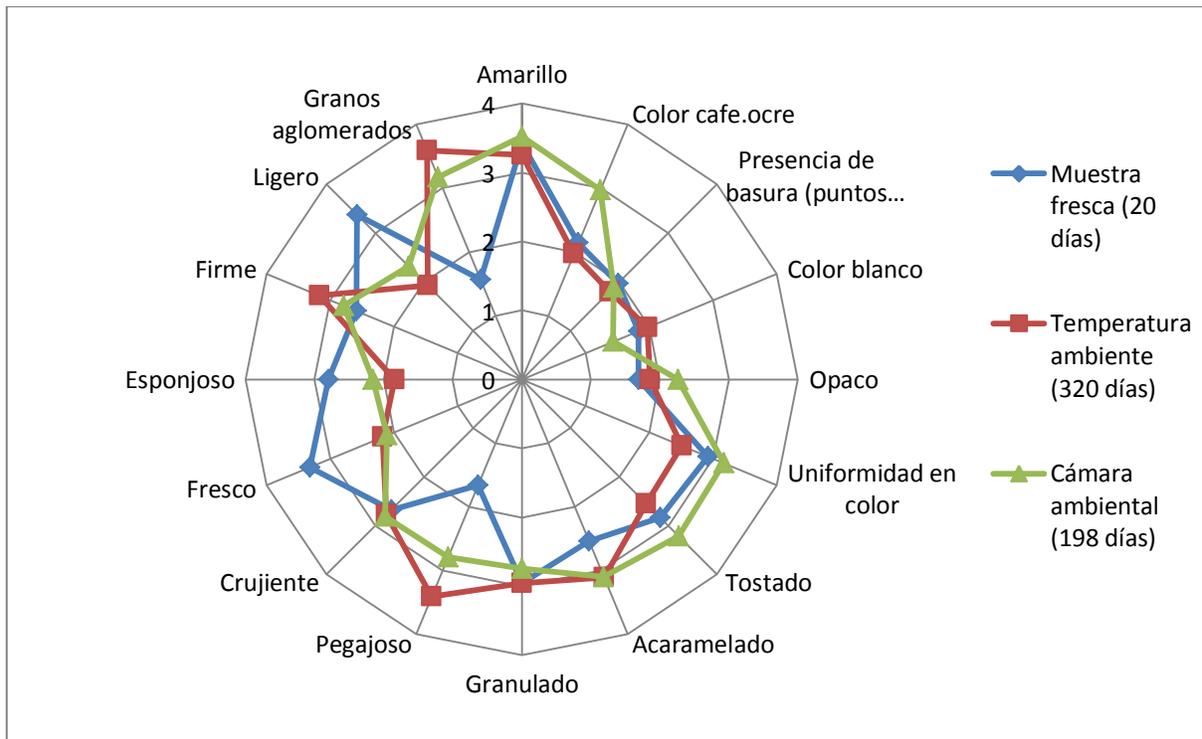
La gráfica anterior muestra el comportamiento del atributo tostado a lo largo del tiempo de almacenamiento en los 2 tratamientos. Se observa que el tostado incrementó su intensidad conforme pasa el tiempo en almacenamiento dentro de la cámara ambiental. Por otro lado, en el almacenamiento en temperatura ambiente, este atributo parece no se modificó o incluso disminuyó ante la percepción de los consumidores.

10.5 Prueba visual final de amaranto

Se realizó una última prueba al amaranto, realizándose a modo comparativo para 3 muestras: Muestra fresca (20 días de almacenamiento), muestra almacenada en temperatura ambiente (320 días) y muestra almacenada en cámara ambiental (198 días).

La prueba final se aplicó a 71 consumidores los cuales evaluaron la muestra exclusivamente en su parte visual (el mismo cuestionario para la parte visual aplicada en las pruebas de vida sensorial útil, se aplicó en ésta prueba), además de una escala hedónica de 9 puntos para observar el comportamiento del nivel de agrado cuando se compararon los 3 productos, y la respectiva prueba de aceptación.

La gráfica siguiente muestra el perfil visual de los 3 productos.



Gráfica 64. Perfil visual final de la prueba RATA para amaranto fresco, almacenamiento en temperatura ambiente y almacenamiento en cámara ambiental.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

En la gráfica anterior, se muestra el comportamiento de los 3 productos y se observa que la muestra fresca (20 días) presentó menores valores de los atributos granos aglomerados, pegajoso y acaramelado, además de percibirse como más esponjoso y fresco. Por otro lado, las muestras con mayores tiempos de almacenamiento (cámara ambiental y temperatura ambiente) compartieron un mismo perfil ya que los valores de muchos de sus atributos fueron similares; sin embargo se pueden diferenciar por algunos atributos como son: granos aglomerados, pegajoso (con mayores valores para el producto almacenado en temperatura ambiente); y color café/ocre y tostado (con mayores valores para el producto almacenado en cámara ambiental).

Los resultados de la prueba hedónica para la muestra fresca, temperatura ambiente y cámara ambiental fueron 6.67, 4.80 y 5.25, respectivamente. Mientras que los porcentajes de rechazo fueron: 15.5, 67.60 y 52.11% Lo que indica que los consumidores aceptaron más una muestra fresca (presentando valores de nivel de agrado de "Me gustó"), mientras que la muestra almacenada en cámara ambiental permanece en un lugar intermedio; el producto almacenado en temperatura ambiente tuvo un mayor rechazo. Esto significa que a pesar del tratamiento en cámara ambiental con condiciones extremas (50°C y 40% humedad), solamente se afectaron los atributos de tostado y el color, los cuales influyeron en la aceptación del consumidor; sin embargo, el mayor deterioro (y menor aceptación del producto) se observó en el amaranto almacenado a temperatura ambiente (20°C) con los atributos aglomerado y pegajoso.

11. Discusión

La metodología current status (tiempos actuales) resultó ser más sencilla para aplicar a consumidores debido a que se elimina el cambio de criterio del consumidor a lo largo del tiempo; así como Araneda (2008) lo ha reportado previamente, las ventajas de esta metodología son de gran utilidad para el desarrollo satisfactorio de diversas investigaciones y, en este caso, no fue necesario usar al mismo consumidor a lo largo del tiempo de almacenamiento, por lo que se evitó la pérdida de datos. Una desventaja de éste método es que se necesita un gran número de consumidores, pero al ser sólo una muestra, la prueba se simplifica; Hough (2010) reporta que no existe un criterio sistemático en la elección del número de consumidores para el análisis de supervivencia; sin embargo en algunos estudios se han empleado entre 50 y 80 consumidores para estas determinaciones (Hough, 2003; Curia, 2005; Salvador, 2005; Gámbaro, 2004; Hough, 2006)

11.1 Nopal

El número de consumidores encuestados a lo largo de este proyecto fue diferente para cada prueba (75 para la prueba preliminar 1, 10 para la prueba preliminar 2 y 30 consumidores en cada tiempo de almacenamiento); sin embargo, las características de los consumidores fueron similares: estudiantes de Licenciatura o Posgrado, en su mayoría. A pesar de las diferencias entre el número de consumidores, los análisis del nivel de agrado para las pruebas preliminares y la prueba final siguieron el mismo comportamiento, en donde se observó una gran disminución del nivel de agrado en los primeros 7 días de almacenamiento; por lo que la percepción de los consumidores resultó ser similar en las distintas pruebas.

De acuerdo a las pruebas preliminares el nivel de agrado de los consumidores disminuyó en los primeros 7 días de almacenamiento tanto para el producto almacenado en bolsa o en domo, como para el producto con atmósfera modificada, esto indicó que existe una disminución drástica de atributos de frescura en este lapso, posteriormente, el producto se mantuvo estable hasta aproximadamente el día 21, finalmente el nivel de agrado disminuyó hasta llegar a los días 26-28.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

No existió diferencia significativa del nivel de agrado ni de los atributos a lo largo del tiempo de almacenamiento para los productos almacenados en bolsa o en domo (de acuerdo a los ANOVAS de 3 factores), esto significa que el envase no fue un motivo de un mayor o menor agrado del producto, y que éstos no influyeron en la conservación del mismo ya que los atributos se mantuvieron estables de igual manera.

En cuanto a la variedad del producto, Milpa Alta obtuvo un mayor nivel de agrado inicial; sin embargo, la disminución del mismo a lo largo del tiempo fue mayor. Por otro lado, la variedad Atlixco presentó un menor nivel de agrado inicial; sin embargo, éste presentó una mayor estabilidad del mismo a lo largo de los tiempos de almacenamiento. Los resultados de los ANOVAS de 3 factores indicaron que no existió diferencia significativa en el nivel de agrado atribuida a la variedad, pero sí a la interacción tiempo*variedad, esto se debió a que la variedad Milpa Alta presentó un menor nivel de agrado en el día 14 de almacenamiento en comparación con Atlixco en el mismo tiempo de almacenamiento. Estos resultados sugieren que la variedad Atlixco mantuvo, de cierta forma, los atributos de frescura característicos del producto durante un tiempo más prolongado.

Se realizó un análisis para encontrar atributos característicos del producto y del perfil de deterioro del mismo, de 39 atributos iniciales se obtuvieron 20 descriptores que fueron significativos a través del tiempo de almacenamiento, 12 atributos para la evaluación de olor y 8 para la evaluación visual. En los que se encontraron para olor: hierba, pasto recién cortado, humedad, tierra mojada, fresco, nopal recién cortado, típico de nopal, refrigeración, dulce, aceite de oliva, olor a viejo/rancio y nopal sintético (plástico). Para la evaluación visual: daños en tejido, color café/ocre, muy firme, presencia de agua, quemado por frío, color verde intenso, color oscuro en zonas desespaldas y color brillante. Dichos atributos se emplearon para el desarrollo de la prueba RATA (Rate all-that-apply).

El nivel de agrado de la evaluación final de nopal disminuyó a lo largo del tiempo del almacenamiento, empezando en un valor de 7 para la muestra fresca y posteriormente disminuyó hasta 1.8 en el día 28. Al realizarse la comparación de

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

los 3 productos evaluados, el producto fresco mantuvo un nivel de agrado entre 6.5 y 7.5 para todos los tiempos de evaluación, por otro lado, el producto almacenado en refrigeración se mantuvo con un nivel de agrado entre 5.2 y 6.5 para todos los tiempos de almacenamiento.

En el segundo día de evaluación (día 4) el nivel de agrado del producto almacenado en refrigeración (5.2) y el almacenado con atmósfera modificada (5.1) fue similar y no presentaron diferencias significativas entre sí. En el tercer día de evaluación (día 7) el nivel de agrado de la muestra almacenada con atmósfera modificada obtuvo un valor de 4.8 mientras que el refrigerado (de 4 días) se mantuvo en 5.4; sin embargo, tampoco existieron diferencias entre estos 2 productos. Para ambos días de evaluación sólo existió diferencia significativa para el nivel de agrado del producto en fresco respecto al refrigerado y al almacenado con atmósfera modificada. Estos resultados implican 2 cuestiones: 1) Que el perfil de atributos de frescura disminuyó drásticamente durante los primeros 4-7 días tanto para el producto refrigerado como para el almacenado con atmósfera modificada. 2) El nivel de agrado del producto almacenado con atmósfera modificada durante 7 días no es significativamente diferente del producto almacenado en refrigeración durante 4 días, por lo que éstos tuvieron perfiles de deterioro similares, los cuales impactaron en la percepción de un nivel de agrado similar por parte de los consumidores.

En cuanto a los porcentajes de rechazo de los 3 productos se observa que el producto fresco mantuvo un porcentaje menor al 20% en todos los días de evaluación, mientras que el producto refrigerado fue variable entre 6 y 40%. En el producto almacenado con atmósfera modificada se incrementó el porcentaje de rechazo en cada tiempo de evaluación, los valores fueron: 0, 53.33, 66.67, 80, 83.33 y 100% para el día 28. Cabe señalar el alto porcentaje de rechazo en el día de almacenamiento número 4, lo cual fue congruente con la disminución del nivel de agrado para éste mismo tiempo de evaluación.

Mediante el uso del estimador Kaplan-Meier se obtuvo una estimación de la función de supervivencia, y en el caso del uso de censuras por izquierda y por

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

derecha, se obtuvieron las probabilidades de que el producto no sea rechazado en los tiempos ajustados. Al realizar el ajuste con los modelos probabilísticos analizados, se obtuvieron los parámetros de escala y forma para cada distribución y su respectivo valor de verosimilitud. Un mayor valor de verosimilitud indica un mejor ajuste con los datos reales, en este caso, el mayor valor se obtuvo con la distribución lognormal, sin embargo hay que tomar en cuenta que los valores de las 3 distribuciones fueron muy cercanos entre sí.

Con los parámetros de cada distribución se calcularon los valores de vida media y varianza, para la distribución weibull se obtuvo un valor de 7.87 días, para la lognormal 4.16 días y 4.82 días para la distribución loglogística. La distribución que presentó una menor varianza entre las 3 analizadas fue la lognormal con una varianza de 1.12 días.

En el análisis estadístico de supervivencia, no existen pruebas estadísticas para comparar la bondad de ajuste de los métodos paramétricos, la validación de los modelos por medio de gráficos basados en las funciones de supervivencia es una práctica común para elegir un modelo adecuado (Cruz, 2010). En los análisis realizados la distribución lognormal presentó una R^2 mayor (0.91) que las otras 2 distribuciones. Este método gráfico implica que la distribución que más se acerque a la linealidad es la que obtendrá un mejor ajuste de los datos, por lo que la distribución lognormal resultó en mejores aproximaciones para la estimación de la vida sensorial útil del nopal. Previamente, se ha reportado por Hough (2006), un ligero mejor ajuste de la distribución lognormal, comparada con la weibull, en la determinación de la vida sensorial útil de muestras de carne cruda almacenadas a diferentes temperaturas. .

Al tomarse en cuenta los análisis de Criterio de información Akaike (AIC) la distribución lognormal obtuvo mejores resultados entre las 3 distribuciones (su valor de AIC fue menor que el de la distribución weibull o loglogística), por lo que esta distribución disminuyó la pérdida de información y estimó más acertadamente la vida sensorial útil de este producto (nopal). Cabe resaltar que el Criterio de Información Akaike es un método de comparación de la calidad relativa de un

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

conjunto de datos, por lo que solamente nos indica que la distribución lognormal tiene un mejor ajuste si la comparamos con las distribuciones weibull y loglogística. Este método no puede garantizar la calidad del modelo, es decir, no indica si los datos se ajustan a los modelos, por lo que se hace una comparación de los datos reales vs los datos simulados (mediante el uso de sus respectivos parámetros de escala y forma); Martínez, 2011, menciona 3 pruebas para comparar el ajuste de los datos: Kolmogorov-Smirnov, Cramér-von Mises y Anderson-Darling. Al realizarse una prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov con estos conjuntos de datos (reales vs simulados) para cada distribución, se obtuvo diferencia significativa entre los 2 grupos de datos, dando como resultado que los datos no se ajustaron totalmente a ningún modelo probabilístico; sin embargo, entre las 3 distribuciones, la distribución lognormal fue la que más se ajustó, esto puede deberse al comportamiento del rechazo de los consumidores, en que existen 2 caídas de la aceptación, una en el tiempo 4 de almacenamiento y posteriormente una segunda caída de la aceptación en el día 21. Guerra (2008) menciona que para la función de riesgo de la distribución lognormal existe un pico correspondiente a los primeros valores de la variable tiempo, lo cual explicaría el mejor ajuste de los datos para la distribución lognormal.

Para los perfiles de deterioro del producto almacenado con atmósfera modificada, de los 20 atributos iniciales de la prueba RATA (Rate all-that-apply), solamente el atributo “presencia de agua” en el perfil visual y “nopal sintético (plástico)”, “aceite de oliva”, y “refrigeración” para el perfil de olor no presentaron diferencia significativa a lo largo del tiempo de almacenamiento, por lo que el resto de los descriptores pueden ser utilizados como atributos indicadores de deterioro.

Acorde a los resultados del perfil visual, los atributos se mantuvieron relativamente constantes del día 0 al día 7, y a partir del día 14 se observaron cambios notorios en el perfil incrementándose los atributos de deterioro, esto concuerda con los resultados del nivel de agrado encontrados previamente donde el producto almacenado con atmósfera modificada durante 7 días fue similar al nivel de agrado del producto almacenado durante 4 días, por lo que sus similitudes en los

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

perfiles impactaron directamente en el nivel de agrado por parte de los consumidores.

La diferencia primordial observada en el nivel de agrado entre la muestra fresca y los productos almacenados durante 4 y 7 días se debió principalmente al perfil de olor encontrado. El perfil de olor para el día 0 fue diferente en comparación con los perfiles de olor de los días 4 y 7, y ya que los perfiles visuales fueron similares en los 3 tiempos de evaluación, el perfil de olor fue determinante para un aumento o disminución del nivel de agrado del consumidor, y tal como se reportó previamente (Osorio, 2011), las técnicas de almacenamiento con atmósfera modificada producen cambios en el perfil de olor del nopal; en este caso, específicamente los atributos de olor de hierba, pasto recién cortado, fresco, nopal recién cortado y típico de nopal fueron los descriptores que marcaron la diferencia en el nivel de agrado entre un producto fresco y uno almacenado entre 4-7 días con atmósfera modificada.

Al realizar el análisis del perfil visual sólo para los 2 controles y los días 4 y 7 de almacenamiento con atmósfera modificada se encontró que el producto fresco en general presentó mayores valores promedio de atributos de frescura, tales como brillante, color verde intenso, y muy firme; sin embargo, también se percibió como quemado por frío; por otro lado, los perfiles de los días 4 y 7 de almacenamiento con atmósfera modificada fueron similares. Si bien en algunos atributos el producto del día 4 tuvo mayores valores (tales como presencia de agua), en general se observó la misma tendencia para ambos tiempos de evaluación. Igualmente, el perfil del control refrigerado durante 4 días tuvo valores similares 4 y 7 almacenados en atmósfera modificada. Esto coincide con resultados encontrados para la evaluación de la vida útil de otros vegetales, como la lechuga, en donde la calidad del producto disminuyó hasta volverse inaceptable después de 8 días de almacenamiento (McKellar, 2004). Por otro lado, Jacxsens, et al. (2002), encontraron que la vida útil del mismo producto (lechuga), basada en sus propiedades sensoriales para almacenamiento a 4 °C, se alcanzaba después de 7 días.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

El perfil de olor de los controles y los días de almacenamiento 4 y 7, mostró perfiles con mayores diferencias entre ellos. La muestra fresca presentó mayores valores de atributos de frescura: hierba, pasto recién cortado, fresco, nopal recién cortado y típico de nopal. Los productos almacenados con atmósfera modificada durante 4 y 7 días tuvieron valores similares en una gran cantidad de atributos como son: nopal sintético (plástico), viejo/rancio, típico de nopal, nopal recién cortado, fresco, tierra mojada y humedad. Estos 2 tiempos de almacenamiento solamente se diferenciaron mediante 2 atributos: olor a hierba y a pasto recién cortado, ya que el almacenado durante 7 días obtuvo menores valores en estos atributos. En cuanto a la muestra refrigerada, se observó que ésta comparte tanto atributos de la muestra fresca (en menores promedios pero mayores a las muestras almacenadas con atmósfera) como son fresco, nopal recién cortado y típico de nopal, y con la muestra almacenada con atmósfera: pasto recién cortado y hierba. Según Osorio (2011), el atributo de típico a nopal y hierba se ven disminuidos con los tratamientos con atmósfera modificada de Nitrógeno, lo cual también se observó en este estudio. Estos resultados pueden indicar que es más fácil para los consumidores identificar una muestra fresca (y sus respectivos atributos de frescura), y por lo tanto adjudicarle un mayor nivel de agrado, en comparación de una muestra almacenada durante 4 o 7 días con atmósfera modificada, las cuales comparten valores similares de sus atributos y, tal como se había sugerido previamente, el perfil de olor representó un papel importante en la identificación de una muestra fresca y sus respectivos atributos de frescura.

El análisis de componentes principales para los atributos visuales y de olor de controles y de los almacenamientos a 4 y 7 días con atmósfera modificada logró separar de una mejor manera los distintos productos, del lado derecho del eje encontramos el producto fresco junto con sus atributos de frescura: Nopal recién cortado, típico de nopal, color verde intenso, fresco, muy firme, así como el nivel de agrado. El producto refrigerado durante 4 días se encuentra al lado izquierdo de la muestra fresca (entre los atributos de la muestra fresca y los de la muestra con atmósfera modificada de 4 días). Los atributos asociados a la muestra almacenada durante 4 días con atmósfera modificada fueron principalmente

presencia de agua, aceite de oliva y en menor proporción color oscuro, viejo/rancio, daños en tejido, y nopal sintético (plástico). Por último, la muestra almacenada durante 7 días con atmósfera modificada se asoció en menores valores con los siguientes atributos: humedad, tierra mojada y refrigeración. Observamos el acomodo general de las muestras en orden de menor a mayor deterioro como: muestra fresca, refrigerada durante 4 días, almacenamiento con atmósfera modificada durante 4 días y almacenamiento con atmósfera modificada de 7 días.

El análisis de componentes principales general (de las muestras almacenadas con atmósfera modificada) logró separar los atributos de deterioro y de frescura y los relacionó con los productos en sus respectivos tiempos de almacenamiento. Se observaron los atributos de deterioro asociados al producto almacenado en el día 28: color café/ocre, color oscuro en zonas desespínadas, daños en tejido. Para los productos almacenados durante 14 y 21 días los atributos de deterioro asociados a ellos fueron: viejo/rancio, humedad, tierra mojada y quemado por frío. Los atributos de frescura fueron marcados por el producto del día 0: brillante, pasto recién cortado, típico de nopal, nopal recién cortado, color verde intenso, muy firme. Por último, en los productos evaluados a los 4 y 7 días se observó una disminución de los atributos de frescura pero sin llegar a asociarse con atributos de deterioro.

11.2 Amarantho

Para la realización de la prueba RATA (Rate all-that-apply) se realizó una búsqueda de atributos característicos del producto y del perfil de deterioro del mismo. De 72 atributos iniciales se obtuvieron 33 descriptores que fueron significativos a través del tiempo de almacenamiento, 16 atributos para la evaluación visual, 11 para la evaluación de olor y 6 para la evaluación de sabor. Para la parte visual: amarillo, color café/ocre, presencia de puntos negros, color blanco, opaco, uniformidad en color, tostado, acaramelado, granulado, pegajoso, crujiente, fresco, esponjoso, firme, ligero y granos aglomerados. Para la

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

evaluación de olor: vainilla, dulce/caramelo, miel, tostado, cereales/granos/semillas, mantequilla, alegría, polvo, rancio, humedad y olor ha guardado. Para la evaluación de sabor: Dulce/caramelo, amargo, crujiente, suave, seco y consistencia correosa. Dichos atributos se emplearon para el desarrollo de la prueba RATA (Rate all-that-apply) aplicada a los 2 tratamientos de almacenamiento (temperatura ambiente y cámara ambiental).

El nivel de agrado de la evaluación de amaranto almacenado a temperatura ambiente comenzó con un valor de 6.98, sin embargo, aún a los 294 días de almacenamiento (aproximadamente 10 meses) el nivel de agrado no disminuyó de un valor de 6 correspondiente a “Me gustó” en la escala hedónica de 9 puntos. En cuanto al almacenamiento en cámara ambiental los valores de nivel de agrado mostraron una tendencia similar: los valores permanecieron oscilando entre 6 y 7 de la escala hedónica de 9 puntos durante los 172 días de almacenamiento.

Los porcentajes de rechazo del amaranto almacenado a temperatura ambiente incrementaron gradualmente hasta llegar al 52.50%, sin embargo después de éste tiempo de evaluación (154 días) el porcentaje de rechazo disminuyó hasta alrededor del 20% para las evaluaciones en los tiempos posteriores. En cuanto al almacenamiento en cámara ambiental el porcentaje de rechazo no tuvo una tendencia clara, los datos del porcentaje de rechazo fueron los siguientes: 11.25, 8.75, 30, 15, 30, 11.39, 46.25, 17.5, 34.29, y 31.25% respectivamente para los diferentes tiempos de evaluación.

Mediante el uso del estimador Kaplan-Meier se obtuvo una estimación de la función de supervivencia, y en el caso del uso de censuras por izquierda y por derecha, se obtienen las probabilidades de que el producto no sea rechazado en los tiempos ajustados. Para el almacenamiento a temperatura ambiente la probabilidad más baja de que el producto no sea rechazado se obtuvo con el tiempo ajustado de 139 días, con un valor de 0.694. Por otro lado el valor de la probabilidad de supervivencia más baja para el producto almacenado en cámara ambiental se dio a los 157 días (ajustados) y tuvo un valor de 0.673. En ninguno de los 2 tratamientos, y a pesar de los largos tiempos de almacenamiento, se llegó

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

al porcentaje de rechazo del 50%, por lo que las probabilidades de supervivencia se mantuvieron constantes en 0.6 para los días posteriores a 109 (temperatura ambiente) y a 85.5 (cámara ambiental).

Al realizar el ajuste con los modelos probabilísticos analizados, se obtuvieron los valores de los parámetros de escala y forma para cada distribución y su respectivo valor de verosimilitud. Un mayor valor de verosimilitud indica un mejor ajuste con los datos reales; en el caso del producto almacenado a temperatura ambiente, el mayor valor de verosimilitud se obtuvo con la distribución lognormal, mientras que para el almacenamiento en cámara ambiental el mayor valor se obtuvo con la distribución weibull, sin embargo hay que tomar en cuenta que los valores de las 3 distribuciones en cada tratamiento difieren solamente por 1 o 2 décimas. La distribución weibull se ha utilizado para evaluar la vida sensorial útil de productos de alimentación diaria como el queso ricota (Hough, et al. 1999) y yogurt concentrado (Al-kadamany, et al. 2002).

Para cada tipo de almacenamiento se calcularon los valores de vida media y varianza, utilizando los parámetros obtenidos de cada distribución. Los datos calculados de vida media y varianza (dada en días) fueron extremadamente elevados, esto se debe a que el porcentaje de rechazo por parte de los consumidores no alcanzó el 50% y como se vio anteriormente con el estimador Kaplan-Meier, las probabilidades de supervivencia disminuyeron mínimamente con el paso del tiempo.

Para ambos almacenamientos se calculó el Criterio de información Akaike (AIC). Para el almacenamiento a temperatura ambiente, la distribución lognormal fue la que obtuvo mejores resultados entre las 3 distribuciones (su valor de AIC fue menor que el de la distribución weibull o loglogística). Mientras que para el almacenamiento en la cámara ambiental, la distribución que obtuvo un menor valor de AIC fue la weibull. Estos resultados concuerdan con los valores de verosimilitud reportados previamente.

Ya que el Criterio de Información Akaike es un método de comparación de la calidad relativa de un conjunto de datos, no se puede garantizar la calidad del

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

modelo, y como ya se observó con el cálculo de la vida media (en la que se obtuvieron valores extremadamente altos), este valor no indica si los datos se ajustan a los modelos, solamente indica qué modelo ajusta mejor entre las distribuciones.

Los resultados concordaron en cuanto al valor de verosimilitud y Criterio de Información Akaike para cada almacenamiento, lo que indica que la metodología utilizada se está aplicando de forma correcta; sin embargo, para el amaranto como producto de estudio, se necesita encontrar el tiempo de almacenamiento en el que el rechazo de los consumidores llegue al 50% (Gacula and Singh, 1984) para lograr una estimación real de los tiempos y las probabilidades de supervivencia por medio del estimador Kaplan-Meier, y así, un mejor ajuste de las distribuciones lo que a su vez brindaría un cálculo de la vida media adecuado.

Para los perfiles de deterioro del producto almacenado a temperatura ambiente, de los 33 atributos iniciales de la prueba RATA (Rate all-that-apply), 11 atributos visuales, 2 de olor y 5 para la parte de sabor discriminaron por tiempo de almacenamiento. Por otro lado, para el almacenamiento en cámara ambiental se observó que 9 atributos para la parte visual, 3 para olor y 4 para sabor obtuvieron diferencia significativa a través del tiempo.

Para los perfiles visuales de ambos almacenamientos se observó con mayor claridad la variación de los atributos en los diversos tiempos de almacenamiento. El perfil de olor para ambos almacenamientos fue muy similar para los atributos en cada tiempo de evaluación. Por último, para los perfiles de sabor se observó diferencia en 4 de los 6 atributos. Esto indicó que los consumidores detectaron diferencias entre los productos cuando evaluaron la parte visual o la parte de sabor, asimismo, y debido a que el número de atributos para olor que presentaron diferencia significativa a través del tiempo es muy bajo, indica que los consumidores no lograron detectar el deterioro del amaranto por medio del olor.

El análisis de componentes principales de los datos conjuntos (almacenamiento a temperatura ambiente y almacenamiento en cámara ambiental), utilizando sólo los atributos que resultaron con diferencia significativa para el tiempo de

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

almacenamiento, fue capaz de separar los 2 tipos de almacenamientos junto con los atributos asociados a cada uno de ellos.

Para el análisis de componentes principales del almacenamiento en temperatura ambiente se obtuvieron los atributos asociados a los productos en sus distintos tiempos de evaluación. Para fresca: sabor crujiente, dulce/caramelo, fresco, tostado, y el nivel de agrado. Mientras que los atributos que se relacionaron con el último día de evaluación y fueron asociados con el deterioro son: pegajoso y granos aglomerados, además de sabor amargo, consistencia correosa y olor a guardado.

Para el análisis de componentes principales del almacenamiento en cámara ambiental se obtuvieron los atributos asociados a los productos en sus distintos tiempos de evaluación. Para fresca: sabor crujiente, vainilla, dulce/caramelo, fresco, y el nivel de agrado. Mientras que los atributos que se relacionaron con los últimos días de evaluación y fueron asociados con el deterioro fueron: tostado, consistencia correosa y color café/ocre. En éste análisis, los resultados sólo mostraron una tendencia de los atributos asociados a los distintos productos.

Las gráficas de los 2 atributos de deterioro detectados en este proyecto para el almacenamiento en temperatura ambiente: granos aglomerados y pegajoso, mostraron un aumento muy similar en su intensidad. Aproximadamente a los 150 días existe un incremento de la intensidad de éstos atributos, posteriormente un descenso y finalmente la intensidad se ve aumentada después del día 200 de almacenamiento. Por otro lado, la intensidad de ambos atributos para el tratamiento con cámara ambiental se incrementó en los primeros 50 días, sin embargo éste vuelve a disminuir gradualmente con el paso del tiempo.

El atributo tostado, obtenido como indicador de deterioro del almacenamiento dentro de la cámara ambiental, incrementó su intensidad durante el tiempo en almacenamiento. Por otro lado, en el almacenamiento en temperatura ambiente, este atributo no se modificó e incluso disminuyó para los consumidores.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Se observó que los atributos granos aglomerados y pegajoso, marcaron el deterioro en el amaranto almacenado a temperatura ambiente después de 150 días, y el atributo de tostado marcó el deterioro del amaranto almacenado en cámara ambiental; Zielinski, et al (2012) encontraron el desarrollo de reacciones de Maillard durante almacenamientos prolongados (alrededor de 5 años) en pasteles de centeno y jengibre, los cuales contribuyeron en el cambio de color del producto final durante el almacenamiento, mientras que Sakak, et al. (2016) no encontraron diferencias en el color para galletas de arroz y trigo almacenadas en tiempos menores a 6 meses, lo cual coincide con los resultados obtenidos con el amaranto en cada uno de los tratamientos, y aunque el amaranto en tratamiento dentro de la cámara ambiental no se almacenó durante un tiempo tan prolongado, la alta temperatura pudo acelerar las reacciones de Maillard provocando el incremento en el atributo tostado. Posteriores estudios, incluyendo el momento en el que el producto ya no se percibe como aceptable, podrían confirmar si estos atributos son indicadores de deterioro adecuados, y así, utilizar otras metodologías como punto de corte (el punto de corte sería el momento en que el atributo llega a un momento no aceptable para los consumidores) y aplicando estudios acelerados utilizando la ecuación de Arrhenius. El tener sólo uno o dos atributos indicadores de deterioro facilitaría en gran medida los cálculos de vida útil, así como la aplicación de las pruebas sensoriales.

En la última prueba visual, la muestra fresca presentó mayores niveles de agrado y menor porcentaje de rechazo, y a su vez, presentó mayores promedios de intensidad de los atributos visuales de frescura, mientras que las muestras almacenadas a temperatura ambiente obtuvieron un porcentaje de rechazo mayor que las almacenadas en cámara ambiental, por lo que las diferencias entre los perfiles visuales y sus respectivos atributos de deterioro influyeron en la aceptación de los consumidores por el producto. La muestra almacenada a temperatura ambiente mostró mayores valores de los descriptores granos aglomerados y pegajoso, mientras que el almacenado en cámara ambiental presentó mayores valores de los atributos color café/ocre y tostado. En los resultados de esta prueba se observó un porcentaje de rechazo mayor del 50%

para los tratamientos con temperatura ambiente y en cámara ambiental, además de que se obtuvieron diferencias entre los perfiles de cada producto, por lo que esto indica que los atributos visuales son suficientes para determinar el deterioro del producto.

12. Conclusiones

- La metodología Current Status data, debido a su sencillez y ventajas sobre las metodologías de almacenamiento básico y de almacenamiento reverso, resultó ser una metodología adecuada para la evaluación de la vida sensorial útil de un producto alimenticio.
- Se obtuvieron las pruebas finales RATA (Rate all-that-apply) con los descriptores que resultaron ser significativos para el tiempo de almacenamiento en los análisis de varianzas (ANOVAS) para ambos productos: nopal y amaranto
- La variedad de nopal Atlixco presentó una mayor estabilidad del nivel de agrado a lo largo del tiempo de almacenamiento.
- No existió diferencia significativa en cuanto al envase utilizado para almacenar el nopal por lo que el uso de domo o bolsa brindaron resultados similares; sin embargo, la bolsa facilitó el transporte, almacenamiento y el envasado.
- Se obtuvieron los perfiles visuales y de olor para el nopal asociados al producto en distintos tiempos de almacenamiento, así como los atributos indicadores de frescura (hierba, brillante, nopal recién cortado, típico de nopal) y los atributos de deterioro (color oscuro en zonas desespínadas, olor a viejo/rancio, quemado por frío).
- Para el amaranto se obtuvieron los perfiles visuales, de olor y sabor para cada tratamiento, siendo el perfil visual y de olor los que más impactaron en la percepción del consumidor. Se obtuvieron los atributos indicadores de deterioro para el amaranto almacenado a temperatura ambiente: granos aglomerados y pegajoso; y los atributos de deterioro para el amaranto almacenado en cámara ambiental: tostado y color café.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

- Se logró aplicar la metodología para evaluar el ajuste de los modelos probabilísticos más utilizados en la industria alimenticia, las pruebas realizadas para seleccionar el mejor ajuste fueron consistentes para cada producto. Asimismo, se logró evaluar el tiempo de vida media con cada una de las distribuciones aplicadas a 2 productos con vida sensorial útil muy distinta: nopal y amaranto.
- En cuanto a los análisis de las distribuciones weibull, lognormal y loglogística en el nopal, la lognormal obtuvo mejores resultados entre las 3 distribuciones, debido posiblemente al comportamiento de la función de riesgo de la distribución lognormal; además de que se obtuvo una varianza menor en el cálculo de la vida media, por lo que la distribución lognormal pudo estimar más acertadamente la vida útil sensorial de este producto (nopal).
- Para el caso del amaranto en ambos tratamientos, se aplicó la metodología para evaluar el ajuste de las 3 distribuciones; sin embargo, los cálculos de la vida media no fueron confiables debido a que no se logró superar el 50% de rechazo de los consumidores.
- Los resultados sugieren que la distribución lognormal puede ser mejor que la weibull o la logística; sin embargo, el adicionar evaluaciones en tiempos intermedios a los reportados en este estudio, incrementar el número de consumidores en las evaluaciones de nopal, evaluar sólo la parte visual del amaranto o sus respectivos atributos de deterioro obtenidos en este proyecto, son algunos de los factores que deberían ser tomados en cuenta en futuros estudios, para elucidar cuál método probabilístico puede ajustar mejor los datos de supervivencia y por lo tanto brindar una mejor estimación de la vida sensorial útil de un producto.

13. Bibliografía

- Aigster, A., Duncan, A. E., Conforti, F. D., Barbeau, W. (2011). Psychochemical properties and sensory attributes of resistant starch-supplemented granola bars and cereals. *Lebensm-Wiss u. Technology-Food Science and technology*. 44, 2159-2165.
- Al-Kadamany, I., Toufeili, M., Khattar, Y., Abou-Jawdeh, S., Harakeh; Haddad, T. (2002). Determination of shelf-life of concentrated yogurt (Labneh) produced by in-bag straining of set yogurt using hazard analysis. *Journal of Dairy Science*. 85 (5), 1023-1030
- Amodio, M. L., Derossi, A., Colelli, G. (2015). A study of the estimated shelf life of fresh rocket using non-linear model. *Journal of Food Engineering*. 150, 19-28.
- Araneda, M., Hough, G.; Wittig de Penna, E. (2008). Current-status survival analysis methodology applied to estimating sensory shelf –life of ready-to eat lettuce (*lactuca sativa*). *Journal of sensory studies*. 23 (162-170).
- Ares, G., Bruzzone, F., Vidal, L., Silva, R., Giménez, A., Pineau, B., Hunter, D., Paisley, A., Jaeger, S. (2014). Evaluation of rating-based variant of Check-all-that-apply questions: Rate-all-that-apply (RATA). *Food Quality and Preference*. 36, 87-95.
- Ares, G., Parentelli, C., Gámbaro, A., Lareo, C., Lema, P. (2006). Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*. 41, 191-197.
- Ares, G., Jaeger, S. (2013). Check-all-that-apply questions: Influence of attribute order on sensory product characterization. *Food Quality and Preference*. 28, 141- 153.
- ASTM E2454. (2005). Standard Guide for Sensory Evaluation Methods to Determine the Sensory Shelf Life of Consumer Products.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

- Borges, R. E. (2005). XV Simposio de Estadística. Análisis de Sobrevivencia utilizando el lenguaje R. Universidad Nacional de Colombia.
- Burnham, K. P.; Anderson, D. R. (2004). Multimodel inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods and Research*. 33, 261-304.
- Calle, M. L., Hough, G., Curia, A., Gómez, G. (2006). Bayesian Survival analysis modeling applied to sensory shelf life of foods. *Food Quality and Preference*. 17, 307-312.
- Cammerer, B., Kroh, L. (2009). Shelf life of linseeds and peanuts in relation to roasting. *Lebensm-Wiss u. Technology- Food Science and Technology*. 42, 545-549.
- Cardelli, C.; Labuza, T.P: (2001). Application of Weibull Hazard Analysis to the Determination of the Shelf Life of Roasted and Ground Coffee. *Lebensm-Wiss u. Technology*. 34 (273-278).
- Corradini, M., Peleg, M. (2007). Shelf life estimation from accelerated storage data. *Food Science and Technology*. 18, 37-47.
- Cruz, G. A.; Walter, E.; Silva Cadena, R.; Faria, J.; M. A. Bolini, H.; Pinheiro, H. P.; S. Sant'Ana, A. (2010). Survival Analysis Methodology to predict the shelf- life of probiotic flavored yogurt. *Food Research International* 43 (1444-1448).
- Curia, A., M. Aguerri, K. Langohr, and G. Hough. 2005. Survival analysis applied to sensory shelf life of yogurts. I: Argentine formulations. *Journal of Food Science*. 70: S442-445.
- Dattatreya, A., Etzel, M., Rankin, S. (2007). 177-182. Kinetics of browning during accelerated storage of sweet whey powder and prediction of its shelf life. *International Dairy Journal*. 17, 177-182.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

- Duyvesteyn, W. S.; Shimoni, E.; Labuza.; T. P. (2001). Determination of the end of Shelf-Life for milk using Weibuull Hazard Method. *Lebensm-Wiss u. Technology*. 34 (143-148).
- Freitas, M., Costa, J. C. (2006). Shelf life determination using sensory evaluation scores: A general Weibull modeling approach. *Computers & Industrial Engineering*. 51, 652-670.
- Gacula, M.C.; Singh, J. (1984). *Statistical Methods in Food and Consumer Research*, Academic Press, New York, NY.
- Gámbaro, A.; Giménez, A.; Varela, P.; Garitta, L.; Hough, G. (2004). Sensory shelf-life estimation of “alfajor” by Survival analysis. *Journal of Sensory Studies*. 19, 500-509.
- García-García, P., López-López, A, Garrido-Fernández, A. (2008). Study of the shelf life of ripe olives using a accelerated test approach. *Journal of food engineering*. 84, 569-575.
- Giacalone, D., Hedelund, P. I. (2016). Rate-all-that-apply (RATA) with semi-trained assessors: An investigation of the method reproducibility at assessor-, attribute- and panel-level. *Food Quality and Preference*. 51, 65-71.
- Giménez, A., Ares, F., Ares, G. (2012). Sensory shelf-life estimation: A review of current methodological approaches. *Food Research International*. 49, 311-325.
- Giménez, A., Varela, P., Salvador, A., Ares, G., Fiszman, S., Garitta, L. (2007). Shelf life estimation of brown pan bread: A consumer approach. *Food Quality and Preference*. 18, 196-204.
- Gram, L., Ravn, L., Rasch, M., Bartholin, B., Christensen, A. B., Givskov, M. (2002). Food-spoilage-interactions between food spoilage bacteria. *International Journal of Food Microbiology*. 78, 79-97.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

- Guerra, S; Lagazio, C.; Manzocco, L.; Barnaba, M.; Cappuccio, R. (2008). Risks and pitfalls of sensory data analysis for shelf life prediction: Data simulation applied to the case of coffee. *Food Science and Technology*. 41 (2070-2078).
- Hernández, A. M. (2010). Tesis. Análisis estadístico de datos de tiempos de fallo en R. Universidad de Granada.
- Hough, G., Calle, L. M., Serrat, C., Curia, A. (2007). Number of consumers necessary for shelf life estimations based on Survival analysis statistics. *Food Quality and Preference*. 18, 771-775.
- Hough, G.; Fiszman, S. (2005). Estimación de la vida útil sensorial de los alimentos. Primera edición. Programa CYTED (Ciencia y Tecnología para el Desarrollo).
- Hough, G. (2010). Sensory Shelf Life Estimation of Food Products. 1st edition. CRC Press.
- Hough, G.; Garitta, L.; Gómez, G. (2006). Sensory Shelf-Life predictions by survival analysis accelerated storage models. *Food Quality and Preference*. 17 (468-473)
- Hough, G., Garitta, L., Sánchez, R. (2004). Determination of consumer acceptance limits to sensory defects using Survival analysis. *Food Quality and Preference*. 15 729-734.
- Hough, G.; Gómez, G.; Curia, A. (2002). Survival Analysis Applied to sensory shelf life of foods. *JFS: Sensory and Nutritive Qualities of food*. 68 (359-362)
- Hough, G., Langohr, K., Gómez, G., Curia, A. (2003). Survival analysis applied to sensory shelf life of foods. *Journal Of Food Science*. 68, 359-362.
- Hough, G., Pugliese, M. L., Sanchez, R., & Silva, O. M. (1999). Sensory and microbiological shelf-life of a commercial ricotta cheese. *Journal of Dairy Science*, 82(3), 454–459.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

- ISO 11035:1994. Sensory analysis. Identification and selection of descriptors for establishing a sensory profile by a multidimensional approach.
- Jacxsens, L.; Devlieghere, F.; Debevere, J. (2002). Temperature dependance of shelf-life as affected by microbial proliferation and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh produce. *Postharvest Biology and Technology*. 26, 59-73
- Jaeger, S., Ares, G. (2015). RATA questions are not likely to bias hedonic scores. *Food Quality and Preference*. 44, 157-161.
- Jaeger, S., Cadena, R., Torres-Moreno, M., Antúnez, L., Vidal, L., Giménez, A., Hunter, D., Beresford, M., Kam, K., Yin, D., Paisley, A., Chheang, S., Ares, G. (2014). Comparison of Check-all-that-apply and forced-choice Yes/No question formats for sensory characterization. *Food Quality and Preference*. 35, 32-40.
- Kasetsart, J. (2009). Shelf life determination of frozen bread dough stored under fluctuating temperature conditions. *Natural Science*. 43, 187-197.
- Kilcast, D., Subramanian, P. (2000). The stability and shelf-life of food. *Woodhead Publishing*.
- Labreche, S., Bazzo, S., Cade, S., Chanie, E. (2005). Shelf life determination by electronic nose: application to milk. *Sensors and actuators B*. 106, 199-206.
- Lee, C. M., Resurreccion, A.V.A. (2005). Consumer acceptance of roasted peanuts affected by storage temperature and humidity conditions. *Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie*. 39, 872-882.
- Manzocco, L., Lagazio, C. (2009). Coffee brew shelf life modeling by integration of acceptability and quality data. *Food Quality and Preference*. 20, 24-29.

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

- Martens, M. (1999). A philosophy for sensory science. *Food Quality and Preference*. 10, 233-244.
- Martínez, L. (2011). Tesis de maestría. Métodos de inferencia para la distribución Weibull: Aplicación en fiabilidad industrial. Universidad de Vigo.
- Mataragas, V., Dimitriou, V., Skandamis, P.N., Drosinos, E. H. (2011). Quantifying the spoilage and shelf-life of yogurt with fruits. *Food Microbiology*. 28, 611-616.
- McKellar, R.C.; Odumeru, J.; Zhou, T.; Harrison, A.; Mercer, D.G.; Young, J.C.; Lu, X.; Boulter, J.; Piyasena, P.; Karr, S. (2004). Influence of a commercial warm chlorinated water treatment and packaging on the shelf life of ready-to-use lettuce. *Food Research International*. 37, 343-354.
- Meyners, M. (2015). Temporal liking and CATA analysis of TDS data on flavored fresh cheese. *Food Quality and Preference*. 47, 101-108.
- Meyners, M.; Jaeger, S.; Ares, G. (2016). On the analysis of Rate-all-that-apply (RATA) data. *Food Quality and Preference*. 49, 1-10.
- Ng, M.; Chaya, C.; Hort, J. Beyond liking: Comparing the measurement of emotional response using EsSense Profile and consumer defined check-all-that-apply methodologies. *Food Quality and Preference*. 28, 193-205.
- Osorio, J. (2011). Tesis de doctorado. Identificación de compuestos aromáticos de diferentes variedades de nopal verdura y su respuesta a la atmósfera modificada como método de conservación. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Ostli, J., Esaiassen, M., Garitta, L., Nostvold, B., Hough, G. (2013). How fresh is fresh?. Perceptions and experience when buying and consuming fresh cod fillets. *Food Quality and Preference*. 27, 26-34.
- Palazón, M. A., Pérez-Condesa, D., Abellán, P., Ros, G., Romero, F., Vidal, M. L. (2009). Determination of shelf-life of homogenized apple-based

beikost storage at different temperatures using Weibull hazard model. 42, 319-326.

- Richards, M., De kock, H., Buys, Elna. (2014). Multivariate accelerated shelf-life test of low fat UHT milk. *International Dairy Journal*. 36, 38-45.
- Ruiz, M. P., galán-Soldevilla, H., Corrales-García, J., Hernández-Montes, A. (2006). Sensory characterization of nopalitos (*Opuntia spp.*). *Food Research International*. 39, 285-293.
- Salvador, A.; Fiszman, S. M.; Curia, A.; Hough, G. (2005). Survival Analysis applied to sensory shelf-life of yogurts-II: Spanish formulations. *Journal of Food Science*. 70, 446-449.
- Sakak, M.; Pestoric, M.; Mandic, A.; Misan, A.; Nedeljkovic, N.; Jambrec, D.; Jovanov, P.; Lazic, V.; Pezo, L; sedej, I. (2016). Shelf-life prediction of gluten-free rice-buckwheat cookies. *Journal of Cereal Science*. 69, 336-343.
- Scmidt, K.; Bouma, J. (1992). Estimating Shelf-Life of cottage cheese using hazard analysis. *Journal of dairy science*. 75 (2922-2927)
- Solano, H. (2008). Análisis de supervivencia en fiabilidad. Predicción en condiciones de alta censura y truncamiento: El caso de las redes de suministro de agua potable. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Tsironi, T., Dermesonlouoglou, E., Giannakourou, M., Taoukis, P. (2009). Shelf life modeling of frozen shrimp at variable temperature conditions. *LWT - Food Science and Technology*. 42, 664-671.
- Urdapilleta, I., et al. (Eds). *Traité d'Évaluation Sensorielle. Aspects Cognitifs et Métrologiques des Perceptions*, pp.XV-XXVIII. France: DUNOD.
- Varela, P., Pintor, A., Fiszman, S. (2014). How hydrocolloids affect the temporal oral perception of ice cream. *Food Hydrocolloids*. 36 (220-228).

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

- Varela, O., Salvador, A., Fiszman, S. (2008). Shelf-life estimation of “Fuji” apples II. The behavior of recently harvested fruit during storage at ambient conditions. *Postharvest Biology and Technology*. 50, 64-69.
- Varela, O., Salvador, A., Fiszman, S. (2008). Shelf-life estimation of “Fuji” apples: Sensory characteristics and consumer acceptability. *Postharvest Biology and Technology*. 38, 18-24.
- Vargas-Soriano, M. (2015). Proyecto de Servicio Social. Análisis de componentes relacionados con la calidad de naranja y nopal verdura. Ingeniería en alimentos. UAM-Iztapalapa.
- The IFST (Institute of Food Science Technology) Guidelines (1993).
- Zielinski, H.; del Castillo, M. D.; Przygodzka, M.; Ciesarova, Z.; Kukarova, K.; Zielinska, D. (2012). Changes in chemical composition and antioxidative properties of rye ginger cakes during their shelf-life. *Food Chemistry*. 135, 2966-2973.
- <http://www.weibull.com/basics/lifedata.htm>

14. ANEXOS

ANEXO I. Descriptores extraídos de las sesiones de evaluación de nopal en Soriana y UAM-I realizadas por Vargas-Soriano (2015).

Aceite de oliva	Melón	Dulce afrutado	Alcohol	Olor a Fruta	Olor a dulce
Hierba	Pasto recién cortado	Refrigeración	Típico a nopal	Alimento descongelado	Nopal sintético (plástico)
Tuna	Pulque	Nopal recién cortado	Afrutado	Coladera	Acetona con aroma
Humedad	Manzana	Agrio	Nopal cambray	Podrido	Quemado por frío
Tierra	Fermentado	Acetona	Olor a viejo	Carambola	Alimento fermentado
Nopal ácido	Levadura	Tierra mojada	Olor a oxidado	Putrefacción	Color ocre en superficie
Daños en tejido	Color café	Poca firmeza	Fresco	Presencia de agua	Fruta echada a perder
Color verde intenso	Color oscuro en zonas desespínadas	Color brillante	Muy firme		

ANEXO II. Evaluación preliminar de nopal

1. Marque todas las palabras que considere adecuadas para describir este producto, junto con la intensidad que perciba.

(No existe un límite en cuanto a la elección de palabras)

#	OLOR	INTENSIDAD			
	Descriptores	Ligeramente	Moderadamente	Mucho	Extremadamente
1	Aceite de oliva				
2	Hierba				
3	Tuna				
4	Humedad				
5	Tierra				
6	Coladera				
7	Melón				
8	Pasto recién cortado				
9	Pulque				

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

10	Manzana				
11	Alimento descongelado				
12	Fermentado				
13	Levadura				
14	Dulce				
15	Afrutado				
16	Refrigeración				
17	Nopal recién cortado				
18	Agrio				
19	Acetona				
20	Tierra mojada				
21	Alcohol				
22	Carambola				
23	Típico de nopal				
24	Olor a viejo				
25	Olor a Oxidado				
26	Fresco				
27	Putrefacción				
28	Nopal sintético (plástico)				

#	VISUAL Descriptores	INTENSIDAD			
		Ligeramente	Moderadamente	Mucho	Extremadamente
29	Daños en tejido				
30	Color café				
31	Poca firmeza				
32	Presencia de agua				
33	Quemado por frío				
34	Color ocre				
35	Color verde intenso				
36	Color oscuro en zonas desespínadas				
37	Color brillante				
38	Muy firme				
39	Alimento descongelado				

#	OTROS Descriptores	INTENSIDAD			
		Ligeramente	Moderadamente	Mucho	Extremadamente
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					
50					

2. Marque que tanto le gusta o le disgusta el producto

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo
--------------------------	----------------------	----------------	------------------------	-------------------------------	---------------------	-------------	-------------------	-----------------------

3. En general, ¿compraría/consumiría este producto?

SI NO

ANEXO III. Evaluación final de nopal

1. Marque todas las palabras que considere adecuadas para describir este producto, junto con la intensidad que perciba. (No existe un límite en cuanto a la elección de palabras)

OLOR	INTENSIDAD				
	Nada	Ligeramente	Moderadamente	Mucho	Extremadamente
Descriptor					
Hierba					
Pasto recién cortado					
Humedad					
Tierra mojada					
Fresco					
Nopal recién cortado					
Típico de nopal					
Refrigeración					
Dulce					
Aceite de oliva					
Olor a viejo/rancio					
Nopal sintético (plástico)					

VISUAL	INTENSIDAD				
	Nada	Ligeramente	Moderadamente	Mucho	Extremadamente
Descriptor					
Daños en tejido					
Color café/ocre					
Muy firme					
Presencia de agua					
Quemado por frío					
Color verde intenso					
Color oscuro en zonas desespaldas					
Color brillante					

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

2. Marque que tanto le gusta o le disgusta el producto

Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo
--------------------------	----------------------	----------------	------------------------	-------------------------------	---------------------	-------------	-------------------	-----------------------

3. En general, ¿compraría/consumiría este producto?

SI

NO

ANEXO IV. Datos simulados. Weibull

[1] 23.10198560 12.97346550 9.78913226 2.00029026
[5] 36.50446876 11.33587325 8.57404819 19.82885031
[9] 15.35658903 0.37967623 3.06113112 5.55343563
[13] 3.08386500 7.24378748 0.80076209 0.44882306
[17] 3.42777809 5.06781288 51.62910336 3.66075736
[21] 5.47295023 13.13513377 1.59749645 36.57728686
[25] 5.37203642 9.24242663 6.31897351 0.27306503
[29] 13.33303776 2.59214073 11.81408568 7.29580000
[33] 8.13257136 2.65170054 7.11195932 0.84477284
[37] 5.91772122 1.03116491 3.56019456 3.42872065
[41] 1.08749083 10.18531084 7.90582595 3.40919417
[45] 1.50011097 9.89471655 21.39441284 9.21800024
[49] 0.88481431 0.25055977 9.60531662 6.69629510
[53] 5.09510002 10.76604033 8.00182414 21.65889607
[57] 1.67240717 0.02039930 1.71669900 17.09856117
[61] 5.33971706 5.25486598 25.62937195 12.75760160
[65] 1.89832314 1.42983905 0.18711223 4.66930393
[69] 16.09415546 0.88084146 1.91292748 12.49010034
[73] 8.86928637 1.16765068 17.02753964 5.03733490
[77] 6.06437986 0.72083541 3.11831205 0.93888150
[81] 1.72538977 3.42607484 6.48072927 3.73935746
[85] 1.51274998 10.93592460 5.43791645 0.24039511
[89] 2.62750191 3.75413038 7.02026833 24.74538511
[93] 6.24210135 4.51925692 0.21506435 4.83096595
[97] 0.57872486 23.89171574 1.42793093 0.92505803
[101] 2.22144169 0.36174337 6.43016684 0.02835821
[105] 7.88885238 19.34331567 12.93192569 1.22080725
[109] 30.94973953 22.54386311 11.35319986 18.90368706

[113] 10.75771825 12.53147819 9.68087744 3.87729916
[117] 0.48268392 1.17953333 40.53724486 5.33875166
[121] 23.70517084 12.00610531 3.04630790 7.97940453
[125] 29.54026364 0.81182894 31.36312875 34.99201697
[129] 0.92549569 2.79281414 0.57832308 5.51061364
[133] 19.55838806 0.15981032 6.19746747 6.82761761
[137] 21.10349654 6.47330014 12.50166693 0.05378656
[141] 35.66906171 1.61027678 1.56376389 55.45115536
[145] 14.78660203 31.83303769 7.17106503 12.19394924
[149] 6.18503966 18.74314833 1.47307221 4.24948684
[153] 22.25263946 1.38800010 2.02816922 2.96537405
[157] 6.81592721 11.44456073 26.63350393 2.15032934
[161] 1.52700354 2.00817034 26.41547738 14.07711430
[165] 4.96939700 3.80830214 13.93910896 8.12341800
[169] 3.16098430 30.82061322 1.62616537 5.72431077
[173] 7.03130905 1.73628919 21.56037586 4.89353819
[177] 24.43327941 3.28644875 1.76634409 8.21500201

ANEXO V. Datos simulados. Lognormal

[1] 1.1697799 1.3466613 1.1559710 1.2131287 1.3261553
[6] 1.1333253 1.0113498 1.0057532 1.0634928 1.2526110
[11] 1.3650284 0.9162603 1.2513869 1.1771572 1.1932965
[16] 1.0476450 1.0141093 1.2892506 1.2932497 1.0350227
[21] 1.2055862 1.0141442 1.0338344 1.1293882 1.3819605
[26] 1.0040139 1.2129664 1.3109107 1.1932348 0.9930469
[31] 1.2021345 1.0826832 1.1320471 1.1070917 1.2335802
[36] 0.9985387 0.8827319 1.1578130 1.0863544 1.0082413
[41] 1.3312945 1.3168375 1.1847388 1.2602252 0.9108258
[46] 1.1536173 1.3262044 1.1496836 1.1491726 1.3536702
[51] 1.2403232 1.0487659 1.4446812 1.0865430 1.0919830
[56] 1.1439353 1.3105151 1.1392222 1.2506866 1.0201537
[61] 1.3724084 1.1618007 1.2307613 1.4199534 1.0243155
[66] 1.4251384 1.2110066 1.1949844 1.3842004 1.2475875
[71] 1.1771357 1.2630572 1.1536456 1.3672107 1.0960620
[76] 1.1446586 1.1643387 1.4723178 1.1787407 1.3619689
[81] 1.2056950 1.1117519 1.2697167 0.8329684 1.1666872
[86] 1.2496614 1.2411567 1.1561497 1.2053516 1.1212949
[91] 1.1754449 1.1811248 1.2812618 1.1244946 1.0156687
[96] 1.3275856 0.9794771 1.2556050 1.0595822 1.1607616
[101] 1.1490571 1.2440751 1.2553578 1.2085425 1.1393687
[106] 1.2511062 1.2008747 1.1259950 1.2989591 1.0486799

[111] 1.2599792 0.8941555 1.1789556 1.3968492 1.2064740
[116] 1.1246649 1.1131030 1.0976435 1.4356946 0.9952968
[121] 1.0115256 1.2391193 1.1424128 1.2154318 1.1892970
[126] 0.9733013 1.3644346 1.2865767 1.2783228 1.1965366
[131] 1.1023513 1.0907801 1.2424316 1.0309688 1.3385196
[136] 1.0324702 1.1470401 1.1479975 1.0931370 1.2885488
[141] 0.9969790 1.1012787 1.1506527 0.9750700 1.0903551
[146] 1.1952282 1.4662934 1.2677120 1.1865864 1.1712916
[151] 1.1821370 1.0095754 1.0870630 1.1492472 1.2730745
[156] 1.1791487 1.2866449 1.1941120 1.0502705 1.1800164
[161] 1.2285082 1.2943051 1.0932761 1.0261995 1.1324309
[166] 1.1612204 1.1596822 1.0432656 0.9649576 1.0932875
[171] 1.2300780 1.3205979 1.2030501 1.3447891 1.2065235
[176] 1.1945682 1.4359857 1.1988975 1.0773731 0.9013717

ANEXO VI. Datos simulados. Loglogística

[1] -0.109496114 0.131403001 0.337132917 -0.353449740
[5] -0.091848300 0.079141432 0.332979494 0.070549788
[9] -0.281672053 0.171927794 -0.600744557 0.121717221
[13] 0.060877983 0.402882971 -0.878678801 -0.126242532
[17] -0.147689516 -0.270112017 -0.245960543 -0.156944741
[21] -0.118336955 -0.435733282 0.140885391 -0.181787211
[25] -0.219711150 0.258853220 -0.433573050 -0.055424792
[29] 0.194600441 -0.333873013 -0.163770633 -0.251246727
[33] -0.014804795 0.103209687 -0.255472108 -0.157455451
[37] 0.377308335 0.079054468 0.268439300 0.135265841
[41] -0.079080944 0.094919332 -0.046438118 -0.657218088
[45] 0.403367803 0.012243904 -0.359128750 0.248137721
[49] -0.177796478 -0.433605927 0.273815165 0.003915947
[53] 0.173493254 0.187861393 -0.453163015 -0.275394067
[57] -0.030131545 -0.090805442 0.394164190 -0.278675618
[61] -0.201431895 -0.532437375 0.112373758 -0.219394452
[65] -0.360019670 -0.524864003 -0.288842416 -0.625344992
[69] -0.399648287 -0.459949597 0.378019150 -0.221299936
[73] -0.414932037 -0.221372480 -0.351084851 0.428236269
[77] 0.189293396 -0.323806605 0.140551581 0.088468608
[81] -0.187138130 -0.085198911 0.210168472 0.543055420
[85] -0.190615525 0.422918575 -0.189408527 -0.147496806
[89] 0.207239821 0.156832287 -0.440136442 -0.082171584
[93] -0.258387988 -0.059302242 -0.757987171 -0.419655057
[97] -0.672236377 -0.054367682 -0.209755944 -0.281092743

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

[101] 0.083126541 -0.402276402 0.688956036 -0.490858065
 [105] -0.420717662 0.016306957 -0.105702624 -0.153099761
 [109] 1.267096137 0.187691887 -0.570114950 -0.554554777
 [113] -0.373782141 -0.110628652 -0.279290301 -0.005780849
 [117] 0.050520364 -0.423489508 -0.167748541 -0.279335831
 [121] -0.204420973 -0.666106062 0.285647226 0.177124468
 [125] 0.179646677 -0.370687290 -0.363366665 -0.258111330
 [129] -0.534227961 0.259860045 -0.348088821 -0.228236494
 [133] -0.260957265 -0.110269595 -0.274885233 0.205956446
 [137] -0.209541465 -0.093382492 -0.131783500 0.115841614
 [141] 0.045102495 -0.109353502 0.496418880 -0.587406371
 [145] -0.090333123 -0.452544952 0.021176967 -0.043664276
 [149] -0.578025737 -1.211640773 0.043939820 -0.162290099
 [153] 0.174871245 -0.708649693 0.623278421 0.118074766
 [157] -0.142848909 -0.368538667 -0.202132136 -0.353688011
 [161] 0.021314579 -0.487229099 -0.174131152 -0.478887815
 [165] -0.076951908 -0.172804987 -0.060141791 0.008758995
 [169] -0.113269874 -0.279797788 0.035494689 0.019767486
 [173] -0.080938896 -0.148827191 0.012762272 -0.632711012
 [177] -0.259609290 -0.300525887 -0.169088159 -0.283382467

ANEXO VII. Evaluación final de amaranto

1. Marque todas las palabras que considere adecuadas para describir este producto, junto con la intensidad que perciba. **(No existe un límite en cuanto a la elección de palabras)**

VISUAL	INTENSIDAD				
	Nada	Ligeramente	Moderadamente	Mucho	Extremadamente
Descriptor					
Amarillo					
Color café /ocre					
Presencia de basura (puntos negros)					
Color blanco					
Opaco					
Uniformidad en color					
Tostado					
Acaramelado					
Granulado					
Pegajoso					
Crujiente					
Fresco					
Esponjoso					
Firme					
Ligero					
Granos aglomerados					

OLOR	INTENSIDAD
------	------------

Comparación de métodos probabilísticos en la vida sensorial útil de productos alimenticios

Descriptor	Nada	Ligeramente	Moderadamente	Mucho	Extremadamente
Vainilla					
Dulce/caramelo					
Miel					
Tostado					
Cereales /granos/ semillas					
Mantequilla					
Alegría					
Polvo					
Rancio					
Humedad					
Olor a guardado					

SABOR	INTENSIDAD				
Descriptor	Nada	Ligeramente	Moderadamente	Mucho	Extremadamente
Dulce /caramelo					
Amargo					
Crujiente					
Suave					
Seco					
Consistencia correosa					

2. Marque que tanto le gusta o le disgusta el producto

Me disgustó muchísimo	Me disgustó mucho	Me disgustó	Me disgustó un poco	Ni me gustó ni me disgustó	Me gustó un poco	Me gustó	Me gustó mucho	Me gustó muchísimo
--------------------------	----------------------	----------------	------------------------	-------------------------------	---------------------	-------------	-------------------	-----------------------

3. En general, ¿compraría/consumiría este producto?

SI NO