

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS



Excelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

Impacto del uso de un agente humectante y tipo de empaque en la estabilidad y conservación de
barritas de granola fabricadas en una industria alimentaria guatemalteca

Trabajo de Graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por
Carmen Lucía Flores Recinos
para optar por el grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

Guatemala

2025

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS



Impacto del uso de un agente humectante y tipo de empaque en la estabilidad y conservación de
barritas de granola fabricadas en una industria alimentaria guatemalteca

Trabajo de Graduación en modalidad de trabajo profesional presentado por
Carmen Lucía Flores Recinos
para optar por el grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos

Guatemala

2025

Vo. Bo.:

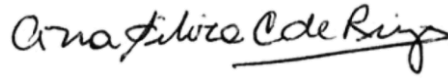
(f)



M.Sc. Adilia Blandón Ubéda

Tribunal examinador:

(f)



M.Sc. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f)



M.Sc. Ana Alicia Paz Pierri

(f)



M.Sc. Adilia Blandón Ubéda

Fecha de aprobación del examen de graduación:

Guatemala, 23 de octubre de 2025

PREFACIO

Con la culminación de esta etapa tan significativa de mi vida, quiero dedicar unas palabras de gratitud a todas aquellas personas e instituciones que fueron parte fundamental de este recorrido.

En primer lugar, agradezco a Dios, fuente de fortaleza y guía en cada paso de mi vida. Gracias por darme la oportunidad de llegar hasta aquí; por darme salud, sabiduría y perseverancia para nunca rendirme, incluso en los momentos más difíciles.

A mis papás, quienes han sido mi mayor inspiración y motor en cada etapa de mi vida. Gracias por acompañarme siempre, por su apoyo incondicional, por creer en mí incluso cuando dudé y por enseñarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo, constancia y dedicación. Este logro les pertenece tanto como a mí, porque detrás de cada paso que doy están sus sacrificios, su amor y todo lo que han hecho para verme cumplir mis metas.

A mi familia, por ser ese pilar inquebrantable en cada momento. Gracias por escucharme, aconsejarme y motivarme en los días difíciles y también por celebrar conmigo cada pequeño triunfo. El apoyo incondicional que me han brindado ha sido la fuerza que me sostuvo en el camino.

Al Departamento de Alimentos y a todos sus catedráticos, quienes durante estos cinco años de carrera me acompañaron en este proceso de crecimiento. Gracias por la confianza depositada en mí, por compartir sus conocimientos y por brindarme las herramientas necesarias para desarrollarme tanto profesional como personalmente. Cada clase, cada consejo y cada experiencia compartida han dejado huella en mi formación.

A Alimentos S.A. y, en especial, al Departamento de Desarrollo de Nuevos Productos por abrirme sus puertas y confiar en mi capacidad. Gracias por darme la oportunidad de realizar mi tesis junto a ustedes, por brindarme todas las herramientas necesarias para poner en práctica mis conocimientos y por permitirme aprender en una industria tan grande y relevante en Guatemala.

A todos, gracias por ser parte de este capítulo de mi vida. Sin su apoyo, comprensión y confianza, este logro no habría sido posible.

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| PREFACIO | v |
| ÍNDICE | vi |
| LISTA DE CUADROS..... | viii |
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| RESUMEN..... | xiv |
| ABSTRACT..... | xv |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. ANTECEDENTES..... | 3 |
| III. JUSTIFICACIÓN | 5 |
| IV. OBJETIVOS..... | 6 |
| A. General..... | 6 |
| B. Específicos..... | 6 |
| V. MARCO TEÓRICO..... | 7 |
| A. Barritas de granola..... | 7 |
| 1. <i>Granola</i> | 7 |
| B. Proceso de fabricación de barritas de granola | 11 |
| C. Empaques..... | 12 |
| 1. <i>Tipos de empaques</i> | 12 |
| D. Vida de anaquel | 18 |
| 1. <i>Factores que afectan la vida de anaquel</i> | 20 |
| 2. <i>Métodos de determinación de vida de anaquel</i> | 21 |
| VI. METODOLOGÍA..... | 29 |
| A. Determinación de parámetros críticos | 29 |
| B. Determinación de cantidad de muestras por almacenar | 29 |
| C. Diseño de almacenamiento | 31 |
| D. Condiciones de almacenamiento en cabinas para pruebas aceleradas | 32 |
| E. Elaboración de barritas de granola | 32 |
| F. Análisis proximal | 32 |
| G. Evaluación de actividad de agua como parámetro crítico de deterioro | 33 |

| | | |
|-------|--|----|
| H. | Evaluación de porcentaje de humedad y dureza como parámetro crítico de deterioro | 33 |
| I. | Evaluación de oxidación como parámetro crítico de deterioro | 33 |
| J. | Evaluación sensorial como parámetro crítico de deterioro | 35 |
| K. | Determinación de tiempo de vida útil mediante ecuación de Arrhenius..... | 36 |
| L. | Determinación de la combinación óptima de formulación y empaque | 37 |
| VII. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 38 |
| A. | Determinación de parámetros críticos | 38 |
| B. | Análisis proximal..... | 40 |
| C. | Ejecución del estudio..... | 40 |
| 1. | <i>Textura y adhesividad</i> | 41 |
| 2. | <i>Evaluación de oxidación</i> | 46 |
| 3. | <i>Análisis sensorial</i> | 48 |
| 4. | <i>Influencia de la actividad de agua y humedad sobre las características de la barra de granola</i> | 52 |
| 5. | <i>Determinación de parámetro crítico mediante matriz de correlación</i> | 57 |
| 6. | <i>Determinación de tiempo de vida útil mediante ecuación de Arrhenius</i> | 59 |
| 7. | <i>Determinación de la combinación óptima de formulación y empaque</i> | 69 |
| VIII. | CONCLUSIONES..... | 71 |
| IX. | RECOMENDACIONES..... | 72 |
| X. | REFERENCIAS..... | 74 |
| XI. | ANEXOS..... | 80 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Resumen de las propiedades y aplicaciones de los materiales más utilizados en empaques de alimentos..... | 13 |
| Cuadro 2. Listado de factores intrínsecos y extrínsecos en la vida útil de los alimentos..... | 21 |
| Cuadro 3. Crecimiento microbiano en diferentes intervalos de actividad de agua | 23 |
| Cuadro 4. Distribución de cantidad de muestras para cada cabina..... | 30 |
| Cuadro 5. Determinación de cantidad de muestras a extraer durante las semanas de análisis de las barras | 31 |
| Cuadro 6. Parámetros de deterioro según ingredientes de las barras de granola | 38 |
| Cuadro 7. Análisis proximal de muestra control de barra de granola..... | 40 |
| Cuadro 8. Determinación de índice de peróxidos y anisidina en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante las semanas 2,4 y 6..... | 47 |
| Cuadro 9. Actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a diferentes temperaturas de almacenamiento durante 12 semanas | 59 |
| Cuadro 10. Determinación de tiempo de vida útil de barras de granola con glicerina y empaque metalizado a diferentes temperaturas de almacenamiento..... | 61 |
| Cuadro 11. Actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente a diferentes temperaturas de almacenamiento durante 12 semanas | 62 |
| Cuadro 12. Determinación de tiempo de vida útil de barras de granola con glicerina y empaque transparente a diferentes temperaturas de almacenamiento..... | 63 |
| Cuadro 13. Actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a diferentes temperaturas de almacenamiento durante 12 semanas | 64 |
| Cuadro 14. Determinación de tiempo de vida útil de barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a diferentes temperaturas de almacenamiento..... | 66 |
| Cuadro 15. Actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a diferentes temperaturas de almacenamiento durante 12 semanas | 67 |
| Cuadro 16. Determinación de tiempo de vida útil de barras de granola sin glicerina y empaque transparente a diferentes temperaturas de almacenamiento..... | 68 |
| Cuadro 17. Determinación de tiempo de vida útil de barras de granola según su formulación y tipo de empaque almacenadas a 25°C..... | 69 |
| Cuadro 18. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas..... | 96 |
| Cuadro 19. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas..... | 96 |
| Cuadro 20. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas..... | 96 |
| Cuadro 21. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas..... | 97 |
| Cuadro 22. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas..... | 97 |
| Cuadro 23. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas..... | 98 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 24. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas..... | 98 |
| Cuadro 25. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas..... | 99 |
| Cuadro 26. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas..... | 99 |
| Cuadro 27. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas..... | 100 |
| Cuadro 28. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas..... | 100 |
| Cuadro 29. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas..... | 101 |
| Cuadro 30. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas..... | 101 |
| Cuadro 31. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas..... | 102 |
| Cuadro 32. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas..... | 102 |
| Cuadro 33. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas..... | 103 |
| Cuadro 34. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas..... | 103 |
| Cuadro 35. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas..... | 104 |
| Cuadro 36. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas..... | 104 |
| Cuadro 37. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas..... | 105 |
| Cuadro 38. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas..... | 105 |
| Cuadro 39. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas..... | 106 |
| Cuadro 40. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas..... | 106 |
| Cuadro 41. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas..... | 107 |
| Cuadro 42. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas..... | 107 |
| Cuadro 43. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas..... | 108 |
| Cuadro 44. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas..... | 108 |
| Cuadro 45. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas..... | 109 |
| Cuadro 46. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas..... | 109 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 47. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas | 110 |
| Cuadro 48. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas | 110 |
| Cuadro 49. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas | 111 |
| Cuadro 50. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas | 111 |
| Cuadro 51. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas | 112 |
| Cuadro 52. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas | 112 |
| Cuadro 53. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas | 113 |
| Cuadro 54. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas | 113 |
| Cuadro 55. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas | 114 |
| Cuadro 56. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas | 114 |
| Cuadro 57. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas | 115 |
| Cuadro 58. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas | 115 |
| Cuadro 59. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas | 116 |
| Cuadro 60. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas | 116 |
| Cuadro 61. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas | 117 |
| Cuadro 62. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas | 117 |
| Cuadro 63. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas | 118 |
| Cuadro 64. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas | 118 |
| Cuadro 65. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas | 119 |
| Cuadro 66. Base de datos utilizada para la determinación de matriz de correlación. | 119 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Diagrama de bloques de elaboración de barras de granola. | 11 |
| Figura 2. Esquema de un estudio de vida de anaquel de alimentos | 20 |
| Figura 3. Cambios que ocurren en los alimentos en función de su actividad de agua | 23 |
| Figura 4. Evolución de la dureza instrumental en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 41 |
| Figura 5. Evolución de la adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 42 |
| Figura 6. Evolución de la dureza instrumental en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 42 |
| Figura 7. Evolución de la adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 43 |
| Figura 8. Evolución de la dureza instrumental en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 43 |
| Figura 9. Evolución de la adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 44 |
| Figura 10. Evolución de la dureza instrumental en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 44 |
| Figura 11. Evolución de la adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 45 |
| Figura 12. Evolución de la aceptación general en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores | 49 |
| Figura 13. Evolución de la aceptación general en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores | 49 |
| Figura 14. Evolución de la aceptación general en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores | 50 |
| Figura 15. Evolución de la aceptación general en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores | 51 |
| Figura 16. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 52 |
| Figura 17. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 53 |
| Figura 18. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 53 |
| Figura 19. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 54 |
| Figura 20. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 54 |
| Figura 21. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 55 |

| | |
|--|----|
| Figura 22. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 55 |
| Figura 23. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas | 56 |
| Figura 24. Matriz de correlación entre variables sensoriales y fisicoquímicas..... | 58 |
| Figura 25. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenadas a 25, 35 y 45°C durante 12 semanas | 60 |
| Figura 26. Linealización de Arrhenius para la evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado..... | 60 |
| Figura 27. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenadas a 25, 35 y 45°C durante 12 semanas | 62 |
| Figura 28. Linealización de Arrhenius para la evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente..... | 63 |
| Figura 29. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenadas a 25, 35 y 45°C durante 12 semanas | 65 |
| Figura 30. Linealización de Arrhenius para la evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado..... | 65 |
| Figura 31. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenadas a 25, 35 y 45°C durante 12 semanas | 67 |
| Figura 32. Linealización de Arrhenius para la evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente..... | 68 |
| Figura 33. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas..... | 80 |
| Figura 34. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 25°C durante 12 semanas | 80 |
| Figura 35. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas..... | 81 |
| Figura 36. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 35°C durante 12 semanas | 81 |
| Figura 37. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas..... | 82 |
| Figura 38. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 45°C durante 12 semanas | 82 |
| Figura 39. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas..... | 83 |
| Figura 40. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 25°C durante 12 semanas..... | 83 |
| Figura 41. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas..... | 84 |
| Figura 42. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 35°C durante 12 semanas..... | 84 |
| Figura 43. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas..... | 85 |
| Figura 44. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 45°C durante 12 semanas..... | 85 |

| | |
|---|----|
| Figura 45. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas..... | 86 |
| Figura 46. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 25°C durante 12 semanas..... | 86 |
| Figura 47. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas..... | 87 |
| Figura 48. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 35°C durante 12 semanas..... | 87 |
| Figura 49. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas..... | 88 |
| Figura 50. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 45°C durante 12 semanas..... | 88 |
| Figura 51. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas..... | 89 |
| Figura 52. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 25°C durante 12 semanas..... | 89 |
| Figura 53. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas..... | 90 |
| Figura 54. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 35°C durante 12 semanas..... | 90 |
| Figura 55. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas..... | 91 |
| Figura 56. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 45°C durante 12 semanas..... | 91 |
| Figura 57. Evolución del sabor en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores | 92 |
| Figura 58. Evolución de la textura en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores..... | 92 |
| Figura 59. Evolución del sabor en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores | 93 |
| Figura 60. Evolución de la textura en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores..... | 93 |
| Figura 61. Evolución del sabor en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores | 94 |
| Figura 62. Evolución de la textura en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores..... | 94 |
| Figura 63. Evolución del sabor en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores | 95 |
| Figura 64. Evolución de la textura en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores..... | 95 |

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la vida útil de barras de granola elaboradas en una industria alimentaria guatemalteca mediante pruebas aceleradas a 25°C, 35°C y 45°C, evaluando el efecto de glicerina como agente humectante y dos tipos de empaques. Se monitoreó la humedad, actividad de agua, dureza y adhesividad instrumental, oxidación lipídica y aceptación general de consumidores utilizando una escala hedónica de nueve puntos. Se identificó la actividad de agua como parámetro crítico de deterioro debido a su relación con la pérdida de crocancia y la pegajosidad. La cinética de deterioro se modeló como una reacción de orden cero y se aplicó el método de Arrhenius para estimar la vida útil a las distintas temperaturas monitoreadas. Por último, se reportó y comparó la vida útil del producto a 25°C, considerando que esta refleja de manera aproximada las condiciones promedio de almacenamiento en el contexto guatemalteco. Se obtuvo que para las formulaciones con glicerina la vida útil fue de 5.7 meses en ambos empaques. Contrariamente, para las formulaciones sin glicerina la vida útil fue de 6.3 meses en empaque metalizado y 5.8 meses en empaque transparente. Al integrar el desempeño de barrera del empaque, la estabilidad de la actividad de agua y la aceptación general medida por los consumidores se concluye que la combinación óptima para maximizar la vida útil del producto fue glicerina en empaque metalizado.

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the shelf life of granola bars produced in a Guatemalan food industry through accelerated testing at 25°C, 35°C, and 45°C, evaluating the effect of glycerin as a humectant and two types of packaging. Moisture, water activity, hardness and instrumental adhesiveness, lipid oxidation, and overall consumer acceptance were monitored using a nine-point hedonic scale. Water activity was identified as a critical parameter of deterioration due to its relationship with loss of crunchiness and stickiness. The deterioration kinetics were modeled as a zero-order reaction, and the Arrhenius method was applied to estimate the shelf life at the different temperatures monitored. Finally, the shelf life of the product at 25°C was reported and compared, considering that this approximately reflects average storage conditions in the Guatemalan context. It was found that for formulations with glycerin, the shelf life was 5.7 months in both packages. In contrast, for formulations without glycerin, the shelf life was 6.3 months in metallized packaging and 5.8 months in transparent packaging. By integrating the barrier performance of the packaging, the stability of water activity, and overall consumer acceptance, it was concluded that the optimal combination for maximizing product shelf life was glycerin in metallized packaging.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria de alimentos se enfrenta a un entorno altamente competitivo y en constante evolución, impulsado por las nuevas exigencias de los consumidores que demandan productos prácticos, saludables y adaptados a estilos de vida acelerados. En este contexto, las barras de granola se han consolidado como una opción de consumo popular debido a su valor nutricional, facilidad de transporte y conveniencia. Sin embargo, garantizar la estabilidad y calidad de estos productos durante su vida útil representa un reto significativo para los fabricantes, ya que factores como la humedad, actividad de agua y pérdida de textura influyen directamente en su deterioro y aceptabilidad.

Ante este desafío, se vuelve indispensable generar conocimiento técnico que permita optimizar la formulación y el empaque de las barras, con el objetivo de prolongar su vida útil y mantener sus características sensoriales y fisicoquímicas durante el almacenamiento y comercialización. Por lo tanto, el presente estudio tiene como propósito evaluar el impacto del uso de un agente humectante y del tipo de empaque en la estabilidad de barras de granola fabricadas por una industria alimentaria guatemalteca.

La investigación contempla el desarrollo de barras de granola en cuatro formulaciones distintas, combinando la presencia o ausencia de glicerina vegetal como agente humectante con dos tipos de empaque: un polipropileno biorientado metalizado y un polipropileno biorientado transparente. Las muestras fueron sometidas a pruebas aceleradas de vida útil a 25°C, 35°C y 45°C simulando condiciones reales de almacenamiento. Se monitorearon parámetros fisicoquímicos como actividad de agua, porcentaje de humedad, dureza, adhesividad y oxidación lipídica; además de atributos sensoriales como sabor, textura y aceptación general mediante una escala hedónica de nueve puntos la cual fue evaluada por consumidores.

Se elaboró una matriz de correlación entre parámetros fisicoquímicos y sensoriales con el propósito de identificar la variable con mayor influencia sobre las demás. Finalmente, para estimar la vida útil del producto se empleó la ecuación de Arrhenius, ajustando los datos experimentales a modelos matemáticos que permitieron proyectar el tiempo de conservación a las distintas temperaturas evaluadas.

Los resultados de este estudio permitieron establecer la combinación óptima de formulación y empaque que maximizara la vida útil de las barras de granola, asegurando su calidad, inocuidad y aceptación por parte del consumidor. Asimismo, esta información proporcionará a la empresa herramientas técnicas para el futuro desarrollo de nuevos productos, técnicas para mejorar la gestión de inventarios, reducir pérdidas por vencimiento y fortalecer su posicionamiento competitivo.

Por último, esta investigación aportó valor al ámbito académico al integrar ciencia aplicada, análisis sensorial y tecnología de alimentos en un contexto industrial real. Se espera que los

hallazgos obtenidos sirvan como referencia para futuras investigaciones enfocadas en el desarrollo y conservación de productos alimenticios, consolidando el vínculo entre el conocimiento científico y su aplicación en la industria.

A continuación, en el siguiente documento se presentan los antecedentes, justificación, objetivos, marco teórico, metodología, resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones del estudio, proporcionando un análisis integral sobre el impacto del uso de un agente humectante y tipo de empaque en la estabilidad de barras de granola.

II. ANTECEDENTES

El desarrollo y comercialización de productos alimenticios requieren de una evaluación rigurosa de vida útil para garantizar su calidad, inocuidad y aceptación por parte de los consumidores. Factores como la formulación, condiciones de almacenamiento y tipo de empaque tienen un impacto directo en la estabilidad del producto a lo largo del tiempo. Además, en un mercado altamente competitivo y en constante crecimiento, como el de las barras de cereales y granola, establecer una vida útil precisa y respaldada por estudios es esencial, pues no solo se garantiza la conservación del producto, sino que también se fortalece la confianza del consumidor y se optimiza la gestión logística y de inventario para las empresas.

En un estudio realizado por Pratiwi, Kensawasd y Winupasith (2019), se estimó la vida de anaquel de una barra de snack alta en fibra, elaborada con polvo de alcachofa de Jerusalén y coco deshidratado bajo en grasa. La investigación evaluó los cambios en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y la aceptabilidad sensorial de esta barra en comparación con una muestra control durante 12 semanas en condiciones de almacenamiento de 35°C y 45°C. Se obtuvo que ambas barras pueden conservarse a 30°C durante 11 semanas en un empaque de poliéster metalizado. Sin embargo, la aceptabilidad sensorial no fue óptima, por lo que se requieren realizar estudios adicionales para mejorar las características organolépticas.

En otro estudio elaborado por Bhakha, Ramasawmy, Toorabally y Neetoo (2019), se formuló una barra de snack alta en proteína, con bajo índice glicémico y contenido de grasa para personas cuyo estilo de vida es ocupado. Los ingredientes principales fueron legumbres, dátiles, maní y frutos secos. Se evaluó la vida útil microbiológica y sensorial en condiciones de almacenamiento de 23°C y 4°C y se estimó que las barras tienen una vida útil microbiológica inferior a 2 días.

Leonor Vásquez (2019) realizó un estudio llamado *Determinación de la vida útil sensorial de galletas tipo soda y oblea rellena, por medio de condiciones aceleradas* en el cual se evaluaron descriptores sensoriales y parámetros fisicoquímicos en ambas galletas y se realizó una correlación entre los descriptores y la aceptabilidad de las muestras. A partir de los valores obtenidos y tomando en cuenta el empaque utilizado, se determinó que la vida útil a 25°C es de 11 meses para las galletas de soda y 6 meses para las galletas de oblea rellena.

En *Determinación de la vida útil mediante pruebas aceleradas (ASLT) de un producto extruido enriquecido con concentrado proteico de papa (Dioscorea Gigas)* se buscó determinar la vida útil de un producto extruido elaborado con cereales andinos y enriquecido con concentrado proteico de papa. Se evaluó el deterioro del producto bajo condiciones controladas de temperatura a 35°C, 45°C y 55% y una humedad relativa del 85% utilizando tres tipos de empaques diferentes, siendo estos propileno biorientado metalizado, polipropileno y coextruido polietileno-poliamida. Se determinó que la mejor combinación para aumentar la vida útil, a una temperatura estimada de 20°C, fue utilizando el empaque de polipropileno biorientado metalizado pues permitió mayor protección contra la ganancia de humedad, lo que contribuyó a prolongar la calidad sensorial del producto por más tiempo (Vito, 2019).

En el contexto mundial, el mercado de barras de cereales ha tenido un crecimiento exponencial durante los últimos años. En 2024, el mercado alcanzó un valor de 13.500 millones de dólares con una proyección de que la tasa compuesta anual crezca en un 4.0% durante 2025 y 2034, con lo cual se estima que se llegará a 19.210 millones de dólares. Dicho crecimiento se le confiere a la creciente demanda de los consumidores por snacks saludables y convenientes, así como también a la preferencia de este tipo de productos por su sabor, valor nutricional y funcionalidad (Claight Corporation, s.f.)

En el mercado guatemalteco, diferentes marcas ofrecen barras de cereales para satisfacer la creciente demanda de snacks saludables. Entre ellas se encuentran Nature Valley, Tosh, Bite, Kellogg's, Quilali, Bimbo, Del Carmen, Kirkland y Helios, cada una con ingredientes, beneficios nutricionales y formatos diferentes.

Las barritas de granola de la marca Del Carmen se presentan en cajas de 6 unidades de 30 gramos cada una, con una vida útil de 8 meses. Sus ingredientes principales incluyen almendras, maní, frutos secos, glucosa, arroz inflado, azúcar, maltodextrina, grasa vegetal, ácido cítrico, lecitina de soya y glicerina. Por su parte, las barritas de granola Tosh vienen en una presentación de 6 unidades de 23 gramos por caja y cuentan con una vida útil de 9 meses. Entre sus ingredientes principales se encuentran glucosa, polidextrosa, avena, frutos secos, hojuelas de maíz, azúcar invertida, grasa vegetal, azúcar y glicerina como humectante. Finalmente, las barritas de granola Bimbo se comercializan en cajas de 6 unidades de 42 gramos cada una. Su vida útil es de 8 meses y sus ingredientes incluyen harina de trigo fortificada, nuez, almendras, huevo y grasa láctea.

En este sentido, la presente investigación responde a la necesidad de generar evidencia técnica que facilite comprender cómo interactúan la formulación y el tipo de empaque en la estabilidad y conservación de barritas de granola sometidas a condiciones aceleradas de almacenamiento. A partir de los antecedentes revisados, se plantea un enfoque integral que combina evaluaciones fisicoquímicas y sensoriales con modelado cinético, con el propósito de establecer parámetros confiables para la estimación de la vida útil del producto y, al mismo tiempo, ofrecer soluciones aplicables al ámbito industrial.

III. JUSTIFICACIÓN

Las *barritas* son alimentos listos para consumir que ofrecen una fuente rápida de energía, ideales para quienes disponen de poco tiempo para consumir una comida completa. Son productos compactos que proporcionan carbohidratos, proteínas y grasas. Además, gracias a la variedad de ingredientes naturales en muchas formulaciones, se pueden considerar como alimentos funcionales ya que los cereales, frutos secos y frutas aportan compuestos bioactivos cuyos efectos son beneficiosos para la salud (Gill, Sahay, & Kumar, 2022).

El Reglamento Técnico Centroamericano de Etiquetado General de Alimentos Previamente Envasados (Preenvasados), reglamento por el cual las industrias de alimentos de Centroamérica se ven regidos, establece que la fecha de vencimiento de un producto se define como “*La fecha en que termina el período después del cual el producto, almacenado en las condiciones indicadas, no tendrá probablemente los atributos de calidad que normalmente esperan los consumidores. Después de esta fecha, no se considerará comercializable el alimento.*” (RTCA 67.01.07:10, 2010, p. 3).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), estima que aproximadamente un tercio de los alimentos destinados al consumo humano se desperdician a nivel mundial. Uno de los principales factores que contribuyen a dicha pérdida es la falta de comprensión sobre el etiquetado de la vida útil, pues muchos consumidores confunden las fechas de consumo preferente con las fechas de vencimiento. Esta situación ha impulsado la necesidad de que los fabricantes desarrollen métodos más precisos para determinar la vida útil de los alimentos, con el fin de minimizar el desperdicio y mejorar su gestión a lo largo de la cadena de suministro (Nuñez, et al., 2017).

Por su parte, la comprensión de la vida útil dentro de la industria de alimentos no solo es fundamental para garantizar la calidad del producto, sino también para optimizar la gestión de inventarios y minimizar desperdicios. Al tener un control de la vida útil adecuado se puede mejorar la rotación de productos, disminuir residuos y maximizar la eficiencia de la cadena de suministro. Además, al tener una gestión efectiva se pueden tener ahorros significativos y aumentar la rentabilidad al evitar pérdidas asociadas con productos vencidos. Por el contrario, al tener una gestión deficiente de la vida útil se puede llegar a tener una acumulación excesiva de inventario y pérdidas económicas derivadas de la caducidad de los productos (FasterCapital, 2024).

La presente investigación tiene como objetivo la determinación de vida útil de *barritas* de granola, un aspecto fundamental para garantizar la calidad, inocuidad y aceptación del producto en el mercado. Al tratarse de una innovación dentro del portafolio de la empresa, contar con datos precisos sobre su estabilidad y tiempo de conservación permitió no sólo optimizar procesos internos, sino también facilitar su expansión a nuevos mercados y la comercialización en otros países. De este modo, la empresa podrá fortalecer su posicionamiento competitivo y responder a la creciente demanda de productos convenientes y saludables para el consumidor.

IV. OBJETIVOS

A. General

Evaluar el impacto del uso de un agente humectante y tipo de empaque en la estabilidad y conservación de barras de granola fabricadas en una industria alimentaria guatemalteca.

B. Específicos

1. Definir el parámetro crítico asociado a la vida de anaquel de las barras de granola.
2. Realizar un estudio de vida útil acelerada en barras de granola con y sin agente humectante, utilizando dos diferentes tipos de empaque.
3. Determinar la combinación óptima de formulación y empaque que permita prolongar la vida útil de las barras de granola.

V. MARCO TEÓRICO

A. Barritas de granola

Las *barritas* son alimentos listos para consumir que ofrecen una fuente rápida de energía, ideales para quienes disponen de poco tiempo para consumir una comida completa. Según sus ingredientes y propósito, pueden denominarse barritas energéticas, barritas de proteína, barritas de fruta, barritas de cereales, barritas de granola, barritas deportivas, entre otras (Gill, Sahay, & Kumar, 2022).

Son productos compactos que proporcionan carbohidratos, proteínas y grasas. Además, gracias a la variedad de ingredientes naturales en muchas formulaciones, se pueden considerar como alimentos funcionales ya que los cereales, frutos secos y frutas aportan compuestos bioactivos cuyos efectos son beneficiosos para la salud (Gill, Sahay, & Kumar, 2022).

1. Granola

La granola es un tipo de cereal listo para consumir, ideal para el desayuno, elaborado con ingredientes ricos en carbohidratos y fibra como avena, mezcla de cereales, nueces, maní y frutos secos o deshidratados. También puede incluir productos inflados o extruidos de trigo, maíz y arroz. Para aportar cohesión y humedad, se suele utilizar glucosa, jarabes de alta fructosa, miel o algún otro agente aglutinante (Eke-Ejiofor, Beleya, & Gbarasogo, 2016).

a. Avena

La avena (*Avena sativa*) perteneciente a la familia Poaceae, es un alimento que se ha consumido desde la antigüedad. Su cultivo se concentra principalmente en las zonas de Europa y Norteamérica, pues requiere de condiciones húmedas y frescas para su desarrollo (Gómez, et al., 2017).

De acuerdo con el INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 2012) 100 gramos de avena en hojuelas sin fortificar aportan 16.89 gramos de proteína, 66.27 gramos de carbohidratos y 6.90 gramos de grasa.

b. Nuez de Macadamia

La macadamia, perteneciente a la familia Proteaceae, proviene de los bosques lluviosos de Australia. Sin embargo, su cultivo se adapta a diversas regiones, incluyendo bosques húmedos tropicales, bosques muy húmedos subtropical y bosques muy húmedos premontanos. En Guatemala, los principales departamentos productores de macadamia son Quetzaltenango, San Marcos, Sololá, Chimaltenango, Huehuetenango, Retalhuleu, Escuintla, Guatemala, Sacatepéquez y Suchitepéquez. En este último se encuentra la finca San José del Carmen, considerada pionera en la producción comercial de macadamia en el país (Colomo, 2015). Este fruto aporta 7.91 gramos de proteína, 75.77 gramos de grasa y 13.82 gramos de carbohidrato por 100 gramos de porción (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 2012).

c. Ajonjolí

También conocido como sésamo, es una planta perteneciente a la familia de las Pedaliáceas es originaria de la India y se cultiva en climas tropicales y subtropicales, con temperaturas alrededor de 24 y 30°C. Su fruto está compuesto por 55% lípidos y 20% de proteínas, lo cual lo convierte en una buena fuente de nutrientes. Además, posee propiedades nutraceuticas, como actividad antioxidante, efecto hipocolesterolemico, acción hepatoprotectora y contribución a la prevención de la hipertensión (Ahumada, 2014).

d. Granos inflados

El maíz y el arroz inflado se obtienen mediante la extrusión de grits de maíz y arroz, un proceso en el que materia prima con alto contenido de almidón y cierta humedad son sometidos a altas temperaturas, presión y esfuerzo de corte. Estas condiciones provocan que el almidón gelatinice y las proteínas se desnaturalicen, transformando la estructura del grano. Durante la última etapa del proceso, la masa es forzada a través de una boquilla de salida, donde se expande rápidamente debido a la liberación de presión y adquiere su textura y forma característica (Carvajal, 2019).

e. BHT (Butilhidroxitolueno)

Este antioxidante de origen sintético no tiene repercusiones en el cambio de aroma, sabor y color de un alimento. Actúa en sinergia con otros antioxidantes, como el BHA y TBHQ, así como con agentes quelantes, mejorando su efectividad en la prevención de oxidación de lípidos. Se considera un aditivo GRAS (Generalmente Reconocido como Seguro), siempre que la

concentración total de antioxidantes no supere el 0.02% del contenido de grasa en el producto (FDA, 2025).

f. Glucosa

Es un monosacárido de seis carbonos y es la principal fuente de energía celular. Se conoce también como dextrosa, aunque dentro de la industria de alimentos se diferencian por su forma de presentación: la glucosa se comercializa como jarabe líquido, mientras que la dextrosa como polvo blanco. Se utiliza como endulzante y desempeña un papel fundamental para prolongar la vida útil de los productos al influir en la estabilidad y textura de estos (Burgos, 2020).

g. Azúcar

La sacarosa es un disacárido compuesto por glucosa y fructosa, obtenido principalmente de la caña de azúcar. Es uno de los edulcorantes más utilizados a nivel mundial y, además de aportar dulzura, contribuye a la textura y otras propiedades organolépticas de los productos (Burgos, 2020). Para Guatemala, el Acuerdo Gubernativo 021-2000 establece que todo el azúcar que se consume en el país sea de producción nacional, importación o donación, debe estar fortificada con vitamina A y debe contener un mínimo de 5 mg/kg de retinol durante toda su vida útil (Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2000).

h. Miel de abeja

La miel es un alimento obtenido por las abejas a partir del polen de las flores. Estas transforman el néctar mediante procesos enzimáticos y de evaporación en los panales de la colmena, produciendo la miel. Está constituido principalmente de azúcares y agua, aunque también contiene enzimas, aminoácidos, carotenoides, ácidos orgánicos, vitaminas, minerales y compuestos fenólicos (Martínez, Rondón, & Pérez, 2020).

La miel se emplea en las barras de granola principalmente por su dulzor y función de agente aglutinante. Como se mencionó, su componente principal es el azúcar, conformada por un 84% de glucosa y fructosa. Por otro lado, el porcentaje restante corresponde a azúcares complejos en cantidades mínimas, formados por la combinación de estos dos monosacáridos. Además de su función edulcorante, la miel contribuye a la textura del producto. Su contenido de agua depende del néctar de origen y de factores ambientales. En condiciones normales, presenta un 18.5% de humedad (Martínez, Rondón, & Pérez, 2020).

Además de aportar dulzura, la miel actúa como agente aglutinante en la formulación de productos. En panadería, cereales y snacks, también ayuda a prolongar la vida útil y retener la humedad. Algunos estudios han demostrado que se puede incorporar miel en cantidades de hasta

un 15% en productos secos, como cereales para desayuno y snacks extruidos, proporcionando una barrera natural contra la absorción de humedad (Yadav & Bhatnagar, 2015).

i. Maltodextrina

Es un polisacárido obtenido mediante la hidrólisis del almidón de fuentes como maíz, papas o arroz. Su versatilidad como ingrediente dentro de la industria de alimentos le permite desempeñar diferentes funciones, desde actuar como edulcorante hasta servir como agente de volumen, espesante y estabilizante y, por tanto, permite mejorar la textura, consistencia y estabilidad de productos (Burgos, 2020).

j. Aceite vegetal

El aceite de palma es un aceite vegetal extraído de la pulpa del fruto de la palma aceitera (*Elaeis guineensis*). Su composición incluye aproximadamente un 50% de ácidos grasos saturados, siendo el ácido palmítico el más predominante, además de contener vitaminas liposolubles A y E. Dentro de la industria de alimentos, es un ingrediente que está presente en casi el 50% de los productos envasados debido a su versatilidad y propiedades funcionales; ya que no solo aporta sabor y textura, sino que también mejora la estabilidad y conservación de los alimentos (Iniesta, 2020).

k. Glicerina vegetal

También conocido como glicerol, este polialcohol incoloro, inodoro y de consistencia semilíquida es altamente soluble en líquidos polares, pero insoluble en alcoholes de alto peso molecular y en compuestos no polares como los ácidos grasos. Dentro de la industria de alimentos, se emplea como aditivo debido a su capacidad de retener humedad y mejorar la estabilidad de los productos, evitando su deshidratación y prolongando su vida útil (Wan, et al., 2019).

Las barritas de granola están clasificadas por el Codex Alimentarius dentro de la categoría “15.1: Aperitivos a base de patatas (papas), cereales, harina o almidón (derivados de raíces, tubérculos, legumbres y leguminosas)”. En este contexto, el glicerol, cuya función es como humectante y espesante, puede emplearse en cantidades que cumplan con las buenas prácticas de fabricación para el uso de aditivos alimentarios (CXS 192-1995, 2024).

l. Lecitina

La lecitina es una mezcla de fosfolípidos, glicolípidos y triglicéridos obtenidos mediante procesos físicos a partir de productos alimenticios de origen animal o vegetal. Dentro de la industria de alimentos, es un aditivo reconocido como seguro (GRAS, *Generally Recognized and Safe*) y autorizado por la Agencia Federal de Drogas (FDA) de Estados Unidos, la Unión Europea y la Comisión del Codex Alimentarius. Su versatilidad permite su uso como agente emulsificante,

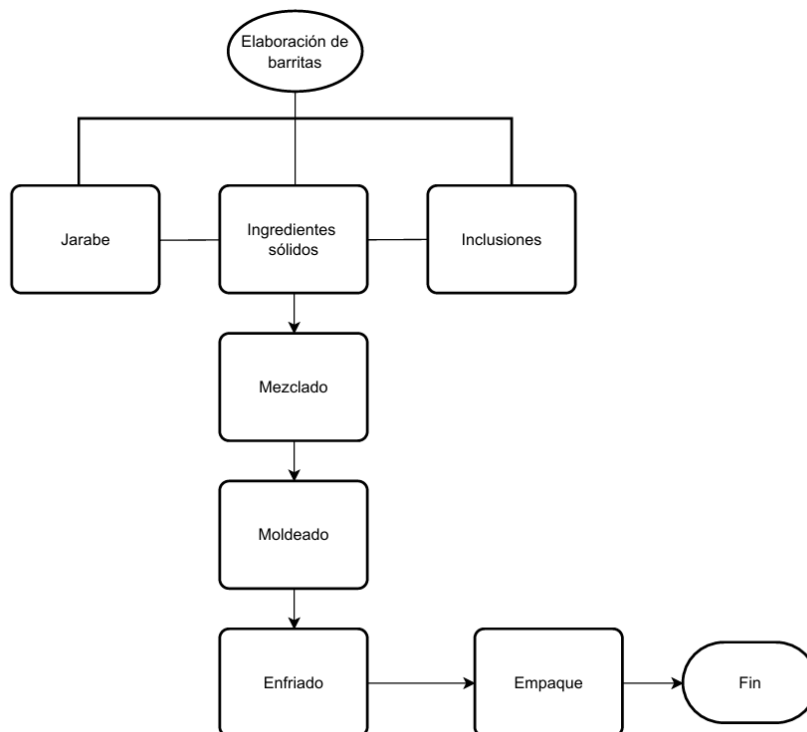
antioxidante, mejorador de textura y protector del sabor, desempeñando un papel clave en la estabilidad y calidad de los productos alimenticios (Pino, 2020).

B. Proceso de fabricación de barras de granola

El proceso de producción de barras varía de acuerdo con las características deseadas en el producto final, pues se pueden incluir operaciones adicionales como recubrimiento con glaseado, rellenos o incluso congelación para mejorar la textura o conservación (Constantin & Istrati, 2018).

En el caso de estudio, la elaboración de barras de granola comienza con la combinación de ingredientes húmedos y secos. Posteriormente, la mezcla es sometida a un proceso de horneado a una temperatura y tiempo previamente establecidos. Luego, pasa por las etapas de moldeado y enfriado, que permiten dar la forma característica del producto y generar una estructura estable. Finalmente, las barras son empacadas y listas para ser distribuidas.

Figura 1. Diagrama de bloques de elaboración de barras de granola.



Fuente: Elaboración propia.

C. Empaques

El proceso de empaque y envasado es una etapa crucial en la industria de alimentos, ya que permite preservar la calidad del producto al protegerlo de daños biológicos, químicos y mecánicos. Además, la selección correcta de empaques permite garantizar la integridad durante el almacenamiento, transporte, distribución y comercialización, asegurando que llegue en óptimas condiciones al consumidor (Sarkar & Kuna, 2020).

No obstante, el empaque no sólo cumple la función de preservar el producto, sino que también representa la identidad de la marca y de la empresa. Elementos clave como la apariencia, el color, la tipografía y el diseño del material no sólo influyen en la percepción del consumidor, sino que también pueden lograr transmitir los valores de la empresa como la sostenibilidad e innovación. Además, un empaque funcional y atractivo no solo facilita la experiencia del usuario, sino que también puede generar un impacto positivo en la decisión de compra pues los consumidores tienden a elegir productos que se adapten a sus necesidades, estilos de vida y preferencias (Sarkar & Kuna, 2020).

Según Gupta y Dudeja (2017), el empaque juega un papel fundamental en la vida de anaquel de los productos alimenticios ya que protege a estos de factores externos como cambios de temperatura, oxígeno, humedad, impactos y vibraciones. Existen diferentes tipos de empaques, cada uno con una función específica:

- Empaque primario: es el que cubre directamente al alimento y lo protege de contaminantes externos.
- Empaque secundario: es el que envuelve y protege al envase primario y permite facilitar su manipulación y distribución.
- Empaque terciario: es el más resistente y es el que se utiliza para resguardar a los dos empaques anteriores en el almacenamiento y transporte a granel.

1. Tipos de empaques

El material de empaque es un factor clave en la determinación de la vida útil de un producto, pues actúa como una barrera protectora frente al oxígeno, vapor de agua, agentes contaminantes, compresión, roturas, etc., preservando la calidad del alimento durante el almacenamiento y distribución. En la industria de alimentos, los materiales más utilizados para empaques incluyen papel, cartón, vidrio, metales y plásticos. Sin embargo, en la actualidad, la tecnología ha permitido la combinación de distintos materiales de empaques para optimizar las propiedades funcionales y estéticas, mejorando su resistencia, conservación y presentación (Sarkar & Kuna, 2020).

Dentro de la industria de alimentos, los materiales de empaque se clasifican en: flexibles, rígidos y semi rígidos. Para productos como las barritas de granola, el material de empaque debe ser flexible (Nieto et al., 2016).

Cuadro 1. Resumen de las propiedades y aplicaciones de los materiales más utilizados en empaques de alimentos

| Material de empaque | | Barrera protectora contra | | | Capacidad termosellable | Propiedades mecánicas, físicas y químicas | Aplicaciones |
|---------------------|------------------------------|---------------------------|----------|------|-------------------------|--|---|
| | | Oxígeno | Humedad | Luz | | | |
| Plástico | Polietileno de baja densidad | Muy baja | Alta | Baja | Sí | Tenacidad, flexibilidad, resistencia a grasas y químicos, rango de temperatura -50°C – 80°C | Bolsas, tapas flexibles y botellas |
| | Polietileno de alta densidad | | Muy alta | | | Tenacidad, rigidez, resistencia a grasas y químicos, fácil procesamiento y formado, rango de temperatura -40°C – 120°C | Botellas, bolsas de cartón |
| | Polipropileno | | Alta | | | Rigidez moderada, fuerte, resistente a grasas y químicos, rango de temperatura -40°C – 120°C | Botellas, tarrinas, envases microondables |

| Material de empaque | | Barrera protectora contra | | | Capacidad termosellable | Propiedades mecánicas, físicas y químicas | Aplicaciones |
|---------------------|--------------|---------------------------|---------|----------|-------------------------|---|------------------------|
| | | Oxígeno | Humedad | Luz | | | |
| Vidrio | Transparente | Absoluta | | Baja | No | Alta estabilidad a temperatura y presión, resistencia química, apto para microondas | Botellas, frascos |
| | Verde | | | Buena | | | |
| | Marrón | | | Alta | | | |
| | Absoluta | | | | | | |
| Metal | | Absoluta | | | No | Estabilidad a altas temperaturas | Botellas, latas, tapas |
| Papel y cartón | | Extremadamente bajo | | Muy alta | No | Estabilidad mecánica | Cajas |

Fuente: Elaboración propia a partir de Bauer, et al., 2022.

a. Empaques flexibles

1. Papel

La mayoría de los papeles utilizados como empaque de alimentos están elaborados a partir de fibra de celulosa extraída de la madera. Sin embargo, el papel obtenido mediante el despulpado mecánico es menos resistente en comparación con el producido mediante un despulpado químico. En este último, la viruta de madera se trata con ácidos o álcalis y se somete a un proceso de lavado. Por último, se tienen etapas adicionales hasta convertirse en papel (Sarkar & Kuna, 2020).

Cabe destacar que el papel convencional no se utiliza como empaque primario para envasar alimentos durante periodos prologados ya que éste no cuenta con propiedades de barrera eficaces. Sin embargo, cuando se usa con este propósito, el papel está tratado, recubierto o laminado para mejorar su capacidad de protección y funcionalidad (Sarkar & Kuna, 2020).

2. Papel de aluminio

El aluminio se somete a un proceso de laminado en frío hasta alcanzar grosores entre 0.200 – 0.001 milímetros, dando lugar al papel de aluminio (Polmear et al., 2017). Las versiones con espesores más delgados se utilizan con frecuencia en el envasado de alimentos debido a sus

excelentes propiedades de barrera, pues el aluminio protege de manera eficiente contra luz, oxígeno, humedad, microorganismos y la transferencia de olores y sabores (Sarkar & Kuna, 2020).

3. *Plástico*

El plástico es un material compuesto por polímeros, los cuales son estructuras largas y encadenadas formadas mediante la unión de enlaces de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros monómeros (Yaris & Sezgin, 2017). Este material se divide en dos categorías: termoplásticos y termoestables. Los termoplásticos son polímeros que se ablandan con el calor y pueden moldearse varias veces, solidificándose al ser enfriados. Por el contrario, los termoestables adquieren una estructura rígida al ser expuestos a temperaturas bajas y no pueden volver a moldearse ya que su composición química sufre cambios irreversibles (Sarkar & Kuna, 2020).

4. *Polímeros utilizados en empaques flexibles*

a. Poliolefinas

Las poliolefinas se obtienen a partir de la polimerización de propileno, etileno, isoprenos y butenos, compuestos derivados del crudo de petróleo y del gas natural. Su estructura se encuentra conformada por átomos de carbono e hidrógeno, unidos mediante cadenas lineales o con ramificaciones laterales. En la industria de alimentos estos materiales son muy utilizados debido a su resistencia mecánica, que permite soportar la manipulación del consumidor, y a su estabilidad térmica. No obstante, hay tecnologías emergentes que están en búsqueda de mejorar las propiedades de humectabilidad, absorción de colorantes y de barrera de este tipo de plástico (AlMa'adeed & Krupa, 2015).

Dentro de las poliolefinas se puede mencionar:

- **Polietileno (PE)**

Es un polímero obtenido a partir de la polimerización del etileno y es el plástico más simple, versátil y económico de producir sintetizado hasta la fecha. Su amplia aplicabilidad se debe a tres factores fundamentales: el peso molecular, la presencia y distribución de comonómeros y la ramificación de las cadenas, cortas y largas, de los monómeros (Tuteja, Vyas, & Sand, 2024). Como materiales de empaque de alimentos, los polietilenos más comunes de utilizar son: polietileno de alta densidad y polietileno de baja densidad (Sarkar & Kuna, 2020). Existen cuatro clases de polietilenos, siendo los más utilizados dentro de la industria de empaques los siguientes:

- i. Polietileno de alta densidad: este plástico es rígido, resistente a productos químicos, con buena estabilidad mecánica y permeabilidad a la humedad. Su punto de fusión es

más alto que el del polietileno de baja densidad, por lo que es ideal como material para fabricar botellas de jugo, leche y agua (Sarkar & Kuna, 2020). Además, tiene un impacto ambiental menor comparado con otros plásticos ya que este se puede reciclar y reutilizar de diferentes formas (Tuteja, Vyas, & Sand, 2024).

- ii. Polietileno de baja densidad: este material es flexible, fácil de sellar, resistente a la humedad y posee una gran durabilidad. Su transparencia lo hace ideal para empaques que requieren sellado térmico. Además, es capaz de resistir temperaturas de hasta -70°C, lo que lo convierte en una opción ampliamente utilizada para el envasado de alimentos congelados (Sarkar & Kuna, 2020).

- **Polipropileno (PP)**

El polipropileno es un plástico derivado del monómero propileno, el cual se caracteriza por su estructura en cadenas no dobladas, lo que le confiere alta cristalinidad, menor densidad y gran resistencia a tensiones y perforaciones. Al igual que el polietileno, es uno de los termoplásticos más utilizados debido a sus propiedades mecánicas, rentabilidad y facilidad de procesamiento (Hossain, et al., 2024). Además, ofrece una barrera moderada contra grasas y olores, así como una mayor protección ante el vapor de agua, ya que no se ve afectado por los cambios de humedad. Debido a estas características, este material es ampliamente utilizado en el empaque de galletas, snacks y alimentos secos (Allahvaisi, 2012)

Comúnmente, se utilizan los siguientes:

- i. Polipropilenos bi orientados (BOPP): las películas de polipropileno orientadas biaxialmente son plásticos que se estiran en dos direcciones: transversal y longitudinalmente. Este proceso permite mejorar sus propiedades mecánicas y de barrera, además de brindar una estabilidad dimensional y facilidad de procesamiento. Dentro de la industria de empaques de alimentos, se suelen incorporar pigmentos que les otorgan una estructura cavitada y un acabado nacarado. Además, pueden contener recubrimientos específicos que permitan regular la permeabilidad del gas y la humedad lo que las convierte en una excelente opción de empaque para prolongar la vida útil de alimentos (Khizar et al., 2023).
- ii. Polipropilenos CAST: es un termoplástico que destaca por sus buenas propiedades funcionales, como alta resistencia a la punción, brillo, buena barrera contra olores y sabores y facilidad de sellado. A diferencia del BOPP, su proceso de fabricación no incluye estiramiento biaxial, lo que lo convierte en un material termosellable eficiente. Sin embargo, presenta menor flexibilidad en comparación con otros polímeros, lo que

limita su uso independiente y por lo cual suele combinarse con materiales como BOPP y PET para mejorar su funcionalidad en aplicaciones de empaques (Herrera, 2017; Vergara & Farías, 2024).

b. Poliésteres

Es un polímero que puede presentar características termoplásticas o termoestables y se considera uno de los polímeros de policondensación más importantes y ampliamente utilizados. Se obtiene a partir de la reacción de ácidos dicarboxílicos y dioles, formando una estructura que contiene al grupo funcional éster en su cadena polimérica principal. Es un plástico utilizado en diversas industrias debido a su versatilidad y resistencia, además que es un plástico que se puede reciclar mediante métodos físicos, como el triturado, o mediante procesos químicos como la hidrólisis y glicólisis en la cual se descomponen en sus monómeros originales para ser reutilizados (Camlibel, 2017).

- **Polietileno tereftalato (PET):**

Es un termoplástico obtenido a partir de la polimerización de unidades de etilentereftalato, siendo la resina polimérica más conocida dentro de la familia de los poliésteres y destacándose por su versatilidad y resistencia. En la industria de alimentos se emplea ampliamente en la fabricación de envases para líquidos, como botellas de agua, jugos y bebidas carbonatadas debido a su alta transparencia, ligereza, resistencia mecánica y capacidad de ser reciclado. Además, ofrece una buena barrera contra el oxígeno y la humedad, por lo que se utiliza en conjunto con otros tipos de plásticos, ayudando así a preservar los productos envasados (Kumari, et al., 2017).

- **Policarbonato (PC):**

Se obtiene mediante la polimerización de la sal disódica del ácido bisfenol con dicloruro de carbonilo. Se caracteriza por proporcionar una buena barrera contra sabores y aromas, lo que lo hace útil en la aplicación de empaques, pero su eficiencia como barrera contra gases es limitada, lo cual puede influir en su desempeño de conservación de alimentos (Sarkar & Kuna, 2020).

- **Polietileno naftalato (PEN):**

Este plástico se obtiene mediante la condensación de naftaleno dicarboxilato de dimetilo y etilenglicol. Químicamente es similar al polietileno tereftalato, pero se distingue por sus mejores propiedades de barrera contra el dióxido de carbono, oxígeno y vapor de agua, lo que lo hace ideal para aplicaciones en donde se requiere mayor protección. Además, tiene una mayor resistencia a altas temperaturas, lo que amplía su rango de uso en envasado y en otras industrias. No obstante, su costo es más elevado en comparación del PET, lo que limita su aplicación masiva (Sarkar & Kuna, 2020).

c. Empaques metalizados

Los filmes metalizados son películas plásticas o de celulosa que son recubiertos con una capa fina metálica que, en el caso de empaques flexibles, es de aluminio. Estas películas se aplican en materiales como poliéster y polipropileno y se utilizan para el empaque de alimentos como galletas, snacks, dulces y frutas frescas. Son bastante utilizados en la industria debido a su excelente capacidad de barrera contra el vapor de agua, pues una capa de apenas una milésima de espesor puede lograr reducir la permeabilidad del vapor desde 7.9 a un rango de 0.04-1.1 $1.1 \text{ g}\cdot\text{mil}/\text{m}^2\cdot\text{día}\cdot\text{atm}$. Además, este recubrimiento permite mejorar la protección contra luz y gases, lo que contribuye a la estabilidad y conservación del producto (Robertson, 1993).

D. Vida de anaquel

El concepto de vida útil o de vida de anaquel está definido por varios autores. El Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos lo define como *“el tiempo mediante el cual un producto alimenticio permanecerá seguro para su consumo, manteniendo sus características sensoriales, químicas, físicas y microbiológicas y cumplirá con las declaraciones nutricionales al almacenarse bajo condiciones especificadas.”* (Hough, 2010).

Por otro lado, Fu y Labuza (1993) lo definieron como *“La vida útil de un alimento es el periodo de tiempo que transcurre hasta que el producto se vuelve inaceptable desde el punto de vista sensorial, nutricional o de inocuidad.”* (Hough, 2010).

El Reglamento Técnico Centroamericano entidad por la cual la industria de alimentos centroamericana se ve regida, establece que es *“La fecha en que termina el periodo después del cual el producto, almacenado en las condiciones indicadas, no tendrá probablemente los atributos de calidad que normalmente esperan los consumidores. Después de esta fecha, no se considerará comercializable el alimento.”* (RTCA 67.01.07:10, 2010, p. 3).

Por último, es fundamental diferenciar entre la fecha de consumo preferente y la fecha de vencimiento. Según el Codex Alimentarius, la indicación de *“consumir preferentemente antes de”* corresponde a *“La fecha en que, bajo determinadas condiciones de almacenamiento, expira el periodo durante el cual el producto sin abrir es totalmente comercializable y mantiene cuantas cualidades específicas se le atribuyen implícita o explícitamente. Sin embargo, después de esta fecha, el alimento puede ser todavía aceptable para el consumo.”* En contraste, la fecha de vencimiento o de caducidad se define como *“Fecha en que termina el periodo después del cual el producto, bajo determinadas condiciones de almacenamiento, no se deberá vender ni consumir por razones de inocuidad y calidad.”* (CXS 1-1985, 2024, p. 4).

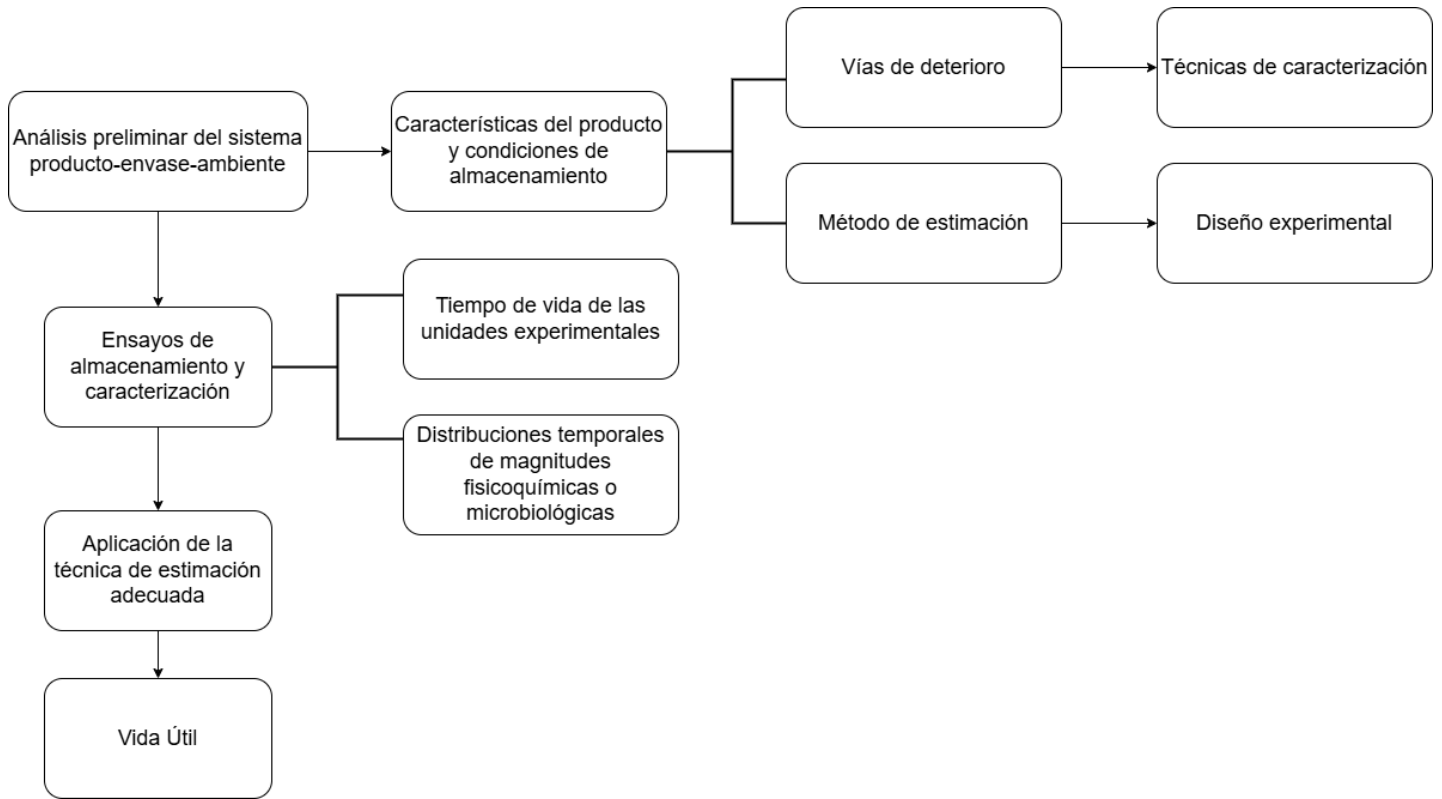
La determinación de la vida útil de un producto depende de su naturaleza, de los tratamientos y procesos aplicados, el tipo de empaque y las condiciones de almacenamiento. Estos factores

influirán en el método de análisis más adecuado, que pueden ser evaluaciones fisicoquímicas, microbiológicas o sensoriales, según las características y estabilidad del alimento (Hough, 2010).

En el caso de las barritas de granola, la vida útil se evalúa considerando tanto características sensoriales como fisicoquímicas relacionadas con su frescura, sabor, compresibilidad y contenido de humedad (Hough, 2010). En este contexto, el uso de glicerina vegetal como agente humectante desempeña un papel clave ya que contribuye a mantener una textura flexible, reducir la actividad de agua y minimizar la pegajosidad del producto. Además, ayuda a conservar la suavidad de la barrita a lo largo de la vida de anaquel, evitando que se endurezca y asegurando una mejor experiencia sensorial para el consumidor (Borjas, 2012).

La clasificación de los alimentos según su vida de anaquel depende de su estabilidad y condiciones de almacenamiento. Un producto se considera perecedero si su vida útil es inferior a 14 días bajo un almacenamiento adecuado. Los alimentos semi perecederos tienen una vida de anaquel de hasta 6 meses, mientras que los alimentos más estables pueden llegar a tener una vida útil entre 6 meses a 3 años o más, siempre y cuando se mantenga en condiciones óptimas de almacenamiento (IFT, 1981).

Figura 2. Esquema de un estudio de vida de anaquel de alimentos



Fuente: Elaboración propia a partir de Nuñez, et al., 2017.

1. Factores que afectan la vida de anaquel

La calidad de los alimentos y su vida de anaquel se ven influenciados por factores tanto intrínsecos como extrínsecos. Los factores intrínsecos incluyen acidez y pH, actividad de agua (A_w), porcentaje de humedad, recuento microbiano inicial, el potencial redox y el contenido de nutrientes, parámetros que determinan la naturaleza del proceso de descomposición de un alimento. Por otro lado, los factores extrínsecos, como la composición atmosférica, la iluminación y las condiciones climáticas influyen en la velocidad con la que ocurren estos procesos. En este contexto, el empaque desempeña un papel clave ya que actúa como una barrera que separa y regula la interacción entre ambos sistemas, ayudando a prolongar la estabilidad y conservación del producto (Bauer, et al., 2022).

Cuadro 2. Listado de factores intrínsecos y extrínsecos en la vida útil de los alimentos

| <i>Factor intrínseco</i> | <i>Factor extrínseco</i> |
|---|---|
| <i>Microbiológico de materias primas</i> | Buenas prácticas de manufactura e higiene |
| <i>Historial de materia prima</i> | Punto de control de análisis de peligros |
| <i>Evaluación y estructura del alimento</i> | Procesamiento de alimentos |
| <i>pH</i> | Temperatura de almacenamiento |
| <i>Actividad de agua (Aw)</i> | Atmósfera gaseosa |
| <i>Potencial redox (Eh)</i> | Humedad relativa |
| <i>Estructura biológica</i> | Tipo de empaque |
| <i>Disponibilidad de oxígeno</i> | Práctica del cliente |
| <i>Contenido nutricional y disponibilidad</i> | |
| <i>Constituyente antimicrobiano</i> | |

Fuente: Tafese, 2022.

2. *Métodos de determinación de vida de anaquel*

Todo estudio de vida útil debe comenzar con una caracterización detallada del producto, en la cual se identifican y describen las propiedades clave que influyen en su estabilidad y conservación. Esta evaluación abarca parámetros fisicoquímicos, sensoriales, nutricionales, funcionales y microbiológicos, así como el tipo de empaque y las condiciones de almacenamiento a las que será sometido. Una caracterización adecuada permite establecer los criterios de deterioro, definir métodos de análisis apropiados y establecer el diseño de empaque más apropiado para prolongar la frescura del producto (Bauer, et al., 2022)

a. *Fisicoquímicos*

- **Humedad:** la humedad de un alimento hace referencia a su contenido total de agua y es uno de sus principales componentes. Su importancia radica en que no solo actúa como medio para que ocurran reacciones químicas y bioquímicas, sino que también participa directamente en algunas de ellas. Por ello, muchos alimentos tienen la capacidad de ganar o perder humedad en función de la dirección de la transferencia de vapor de agua con el entorno. Estos cambios pueden afectar significativamente la vida útil y la calidad de los productos, influyendo en aspectos como textura, estabilidad e inocuidad microbiológica (Man, 2004).

- **Humedad relativa:** la humedad relativa se refiere al agua adsorbida en el producto que se encuentra en equilibrio con el vapor de agua en el aire de la atmósfera que lo rodea (Aedo, 2020).

Los productos alimenticios no solo se encuentran expuestos a variaciones de temperatura durante su almacenamiento y distribución, sino que también en el hogar de los consumidores. A temperaturas elevadas, el aire dentro del empaque puede retener más humedad, lo que favorece a la condensación y deterioro del producto. Por el contrario, a temperaturas más bajas el porcentaje de humedad relativa dentro del envase aumenta, contribuyendo a la absorción de agua por parte del alimento y afectar su textura y vida útil (Steele, 2004).

Contar con un material de empaque adecuado es fundamental para preservar la estabilidad de los alimentos, pues la diferencia en la actividad de agua entre el producto y su entorno provoca la migración de humedad. Si se tiene un material altamente permeable y el alimento es almacenado en una humedad relativa superior al punto de equilibrio, la actividad de agua aumentará debido a la absorción de vapor y el deterioro del producto se ve acelerado. Por el contrario, si la humedad relativa es inferior a la de equilibrio, el producto perderá agua y se deshidratará, afectando su textura y calidad. Por lo que, aunque no existe un material de empaque completamente impermeable, los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de materiales con mejores propiedades de barrera que ayudan a controlar la transferencia de humedad y prolongar la vida útil de los productos (Badui, 2020).

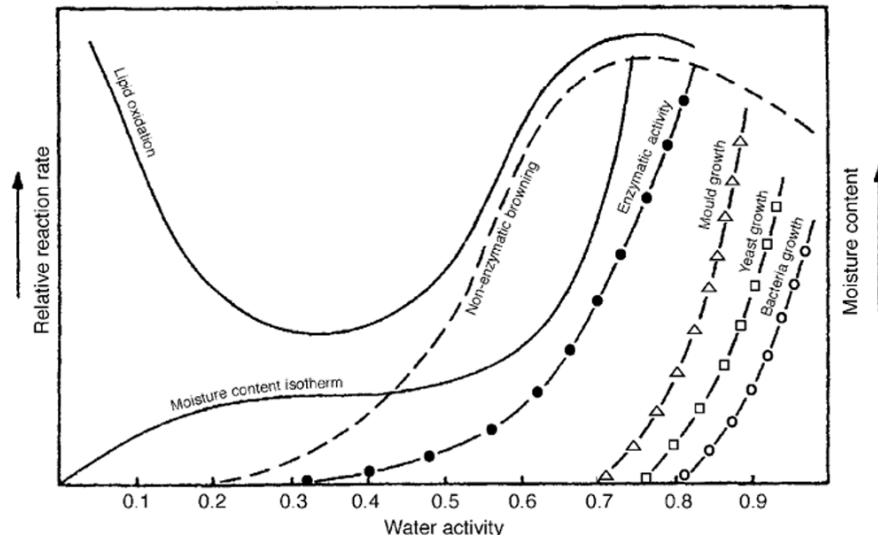
- **Actividad de agua:** en el libro *Química de los Alimentos*, Badui (2020) define la actividad de agua como la relación entre la presión parcial de vapor de agua en equilibrio con un alimento y la presión parcial de vapor de agua en condiciones estándar. Este parámetro se encuentra directamente relacionado con el contenido de agua disponible en un producto y juega un papel clave en la determinación de su vida útil (Cardona, 2019).

La actividad de agua se mide en una escala entre 0 a 1, donde 1 corresponde al agua pura. A medida que este valor disminuye en un alimento, la probabilidad de que ocurra actividad biológica y enzimática en un alimento se reduce, facilitando su conservación y prolongando su vida útil. Además de su impacto en la inocuidad alimentaria, la actividad de agua influye directamente en la calidad del producto, afectando características como textura, sabor, color y valor nutricional (Cardona, 2019).

Cuando un producto presenta una actividad de agua inferior a 0.7, el crecimiento bacteriano y fúngico se inhibe en gran medida. A valores menores de 0.6 la actividad enzimática también disminuye; sin embargo, aún pueden ocurrir reacciones de pardeamiento enzimático, autooxidación y oscurecimiento, pues el oxígeno puede interactuar con los sustratos y enzimas presentes en el alimento. En el caso de snacks

crocantes, como las barritas de granola, la actividad de agua oscila entre 0.35 – 0.50 dependiendo de su formulación (Calderón, et al., 2005).

Figura 3. Cambios que ocurren en los alimentos en función de su actividad de agua



Fuente: Labuza, Application of Chemical Kinetics to Deterioration of Food, 1984.

Cuadro 3. Crecimiento microbiano en diferentes intervalos de actividad de agua

| <i>Intervalo de actividad de agua</i> | <i>Microorganismos</i> | <i>Alimentos</i> |
|---------------------------------------|---|---|
| 0.95-1.00 | Pseudomonas, Escherichia, Proteus, Shigella, Klebsiella, Bacillus, Clostridium perfringens, algunas levaduras | Alimentos frescos, fruta enlatada, vegetales, carne, pescado, leche |
| 0.91-0.95 | Salmonella, Serratia, Lactobacillus, Pediococcus, Vibrio Parahemolyticus, Clostridium botulinum, Bacillus cereus, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus, algunos hongos y levaduras | Quesos frescos, carnes curadas |
| 0.87-0.91 | Mayoría de levaduras: Torulopsis, Candida, Hansenula, Micrococcus | Fiambres, bizcochos, quesos curados, margarinas |

| <i>Intervalo de actividad de agua</i> | Microorganismos | Alimentos |
|---------------------------------------|--|--|
| 0.80-0.87 | Mayoría de hongos Penicilium. Staphylococcus aureus. Levaduras como Saccharomyces. | Zumos de fruta concentrados, leche condensada |
| 0.75-0.80 | Bacterias halófilas. Mayoría de hongos Aspergillus. | Confituras y mermeladas |
| 0.65-0.75 | Hongos xerófilos | Gelatinas, azúcar de caña no procesada, algunas frutas desecadas, nueces |
| 0.60-0.65 | Levaduras osmófilas: Saccharomyces rouxii. Algunos hongos: Aspergillus echiulatus | Frutas desecadas (15-20% humedad), caramelos, miel |

Fuente: Cardona, 2019.

- **Oxidación de lípidos:** el deterioro de los lípidos en productos alimenticios se clasifica en dos reacciones: rancidez hidrolítica y rancidez oxidativa. La rancidez hidrolítica ocurre cuando las lipasas descomponen los triacilglicéridos, liberando ácidos grasos libres. Por otro lado, la rancidez oxidativa se produce cuando el oxígeno y las lipoxigenasas reaccionan con los ácidos grasos insaturados. Como resultado del deterioro de lípidos, se generan compuestos como aldehídos, cetonas, alcoholes, alcanos e hidroxiácidos, los cuales no solo provocan olores y sabores desagradables, sino que también pueden destruir vitaminas y degradar proteínas, afectando la calidad nutricional y sensorial del producto (Zainol, et al., 2003).

La actividad de agua desempeña un papel crucial en la oxidación de lípidos, influenciando la estabilidad de los productos alimenticios. En alimentos con baja actividad de agua, la presencia de radicales libres puede desencadenar procesos oxidativos que dan lugar al deterioro de lípidos. Por otro lado, en productos con alta actividad de agua, el agua acelera la oxidación al actuar como el solvente de los reactivos. Debido a este comportamiento, la estabilidad máxima de los alimentos se obtiene en niveles intermedios de actividad de agua (Steele, 2004).

- **Textura:** en productos como las barritas de granola, los aditivos con función de emulsionante desempeñan un papel clave en la formación de textura, ya que al calentarlos se convierten en fluidos que recubren el producto y al enfriarse actúan como agente aglutinante que mantiene unidos a los ingredientes (Salazar, et al., 2015).

Para evaluar la textura, se llevan a cabo procedimientos que permiten medir y cuantificar parámetros como dureza, elasticidad y cohesividad, los cuales se encuentran directamente relacionados con la tasa de deformación aplicada y la composición del producto. Además, la determinación de la textura proporciona información clave sobre la aceptabilidad del producto por parte del consumidor, ya que esta influye en la percepción sensorial y su experiencia de consumo (Toscano, et al., 2020).

b. Sensoriales

El desarrollo de nuevos productos es un proceso complejo que involucra pruebas químicas, microbiológicas y análisis físicos para evaluar características como dureza, elasticidad y viscosidad. No obstante, dichas pruebas no garantizan la aceptación del consumidor pues, si bien los resultados de las mediciones son consistentes, estos pueden generar percepciones distintas entre los consumidores (Singh-Ackbarali & Maharaj, 2014).

En el pasado, las pruebas de calidad de alimentos y bebidas se realizaban mediante un puntaje designado para ausencia o presencia de defectos en apariencia, sabor y textura. Sin embargo, esta metodología presenta limitaciones ya que la evaluación puede ser subjetiva al asignar puntuaciones cuantitativas y no se realiza una correlación con la aceptación del consumidor. Es por ello por lo que la evaluación sensorial se ha convertido en una herramienta fundamental para evitar estos problemas, pues permite comprender la experiencia del usuario de manera holística y así minimizar el riesgo del fracaso de un producto al equilibrar las necesidades del consumidor con los objetivos de la empresa (Singh-Ackbarali & Maharaj, 2014).

De acuerdo con Pop (2023), el análisis sensorial se define como *una ciencia que se utiliza para describir, medir, analizar e interpretar las respuestas recibidas para un alimento que fueron percibidas por los sentidos: vista, olfato, gusto, tacto y oído*. Es una disciplina que se aplica tanto en la industria de alimentos como en el ámbito académico.

En la industria de alimentos, el análisis sensorial es clave durante varias etapas del desarrollo de productos y la producción. En la investigación de mercado, permite identificar las preferencias y necesidades de los consumidores. Durante la fase de desarrollo y prototipado de productos, contribuye a la creación de sabores, texturas y propuestas innovadoras que aportan una ventaja competitiva. Por último, durante la producción, se utiliza como método de control de calidad para asegurar la uniformidad entre lotes (Huang, 2024).

La vida de anaquel sensorial se refiere al tiempo mediante el cual un producto mantiene sus propiedades percibidas por los sentidos según lo establecido por el fabricante. Durante este tiempo, el producto conserva su calidad y le ofrece al consumidor las características organolépticas, el rendimiento y los beneficios esperados, asegurando una experiencia de consumo óptima (Hough, 2010).

Existen diferentes métodos y pruebas que se pueden realizar, ya sea a consumidores o a panelistas entrenados. Entre estos se pueden mencionar:

i. Pruebas de discriminación:

Las pruebas de discriminación se pueden dividir en dos categorías: pruebas de diferencia global y pruebas de diferencia de descriptores. Las pruebas de diferencia global buscan identificar si existen diferencias sensoriales perceptibles entre las muestras, mientras que las pruebas de diferencia de descriptores se centran en evaluar las variaciones en un atributo sensorial específico (Hough, 2010).

- **Prueba triangular:** las pruebas triangulares son un método de análisis en el que los panelistas analizan simultáneamente tres muestras presentadas de manera aleatoria, de las cuales una es diferente y las otras dos son idénticas. El objetivo de esta prueba es que el evaluador identifique la muestra distinta, permitiendo determinar si existen diferencias sensoriales perceptibles entre los productos (Hernández, 2005).
- **Prueba de diferencia simple:** las pruebas de diferencia simple consisten en la presentación aleatoria de dos muestras a un panel de consumidores. Dichas muestras pueden ser idénticas o diferentes para cada consumidor. El objetivo de la prueba es que los panelistas determinen si perciben alguna diferencia entre ellas, permitiendo evaluar la sensibilidad sensorial y la consistencia del producto (Osorio, 2018).

ii. Pruebas de aceptación y preferencia:

Las pruebas de aceptación y preferencia se emplean para evaluar el nivel de agrado, aceptabilidad y elección de un producto por parte de los consumidores. Para ello, se recurre a panelistas no entrenados que representen al público objetivo, asegurando que los resultados reflejen las percepciones reales y las expectativas del mercado (Osorio, 2018).

- **Pruebas de escala hedónica:** las escalas hedónicas se utilizan para medir el nivel de agrado o desagrado que un consumidor experimenta respecto a un producto. Estas escalas pueden variar entre cinco y once puntos, donde los extremos representan el máximo disgusto y gusto, mientras que el punto medio refleja una percepción neutra. Su objetivo es facilitar la identificación del punto de indiferencia, permitiendo evaluar la aceptación sensorial del producto de manera más precisa (Osorio, 2018).
- **Pruebas de ranking:** también llamadas pruebas de ordenamiento, en estas pruebas los panelistas organizan las muestras en orden creciente con base a una característica o

atributo específico que se esté evaluando, permitiendo comparar preferencias y detectar diferencias sensoriales entre los productos (Osorio, 2018).

3. Metodología para determinar vida útil de alimentos

a. Método directo o en tiempo real

Este tipo de pruebas se lleva a cabo bajo condiciones de almacenamiento constantes y en tiempo real, evaluando de forma periódica los parámetros críticos hasta que presentan alguna modificación o deterioro. Su principal desventaja es que requieren de periodos prolongados de estudio para obtener resultados concluyentes (Díaz, 2022).

b. Método de supervivencia

Es un modelo estadístico fundamentado en la percepción del consumidor, en el cual un panel evalúa las muestras de acuerdo con la aparición de defectos sensoriales y permite definir el momento en el cual el producto deja de ser aceptable (Díaz, 2022).

c. Microbiología predictiva

Es un método que analiza el comportamiento de los microorganismos en función de los factores que influyen en su crecimiento o inactivación. Permite obtener resultados en un período corto de tiempo, aunque requiere complementarse con métodos de microbiología tradicional para su validación (Díaz, 2022).

d. Método indirecto o pruebas de vida útil acelerada

En la industria alimentaria, es fundamental obtener en tiempos relativamente cortos la información necesaria para determinar la vida de anaquel de los productos, lo cual permite una planificación eficiente en la producción, manejo, almacenamiento y distribución de estos. Para agilizar este proceso, se han desarrollado pruebas aceleradas que permiten obtener datos experimentales en un menor tiempo. Sin embargo, la aplicación de estos procedimientos requiere un conocimiento previo de las condiciones de almacenamiento en un entorno controlado y de cómo estas varían bajo condiciones aceleradas, asegurando así la validez y fiabilidad de los resultados (Labuza, Application of Chemical Kinetics to Deterioration of Food, 1984).

Las pruebas aceleradas consisten en incubar muestras de alimentos en condiciones controladas a temperaturas superiores a las de almacenamiento y comercialización. Este procedimiento permite acelerar las reacciones de deterioro, reduciendo el tiempo necesario para obtener resultados y

estimar la vida útil del producto en un periodo más corto que su duración real. Los cálculos para pruebas aceleradas pueden hacerse mediante la ecuación de Arrhenius o mediante el factor Q_{10} (Puma, et al., 2018).

La ley de Arrhenius utilizado en vida de anaquel es un modelo matemático que permite predecir la velocidad de deterioro de los alimentos en función de la temperatura (Labuza, Application of Chemical Kinetics to Deterioration of Food, 1984).

El factor Q_{10} expresa la relación entre la velocidad de reacción a una temperatura específica y su velocidad a otra temperatura con una diferencia de temperatura de 10°C. Este parámetro permite predecir la variación de las tasas de deterioro en los alimentos cuando son sometidos a diferentes condiciones térmicas (Labuza, Application of Chemical Kinetics to Deterioration of Food, 1984).

4. Reacciones cinéticas para predecir la calidad en alimentos

Según Theodore Labuza (1999) comprender la pérdida de calidad en los alimentos representa un desafío complejo, pues ésta se manifiesta tanto en la reducción de atributos deseables, como el sabor y la textura, como en el aumento de factores indeseables, como la humedad y el índice de peróxidos. Para cuantificar estos cambios, las velocidades de deterioro de un componente A (r_A) y la formación de un componente B (r_B) se expresan mediante las siguientes ecuaciones:

En donde:

$$r_A = \frac{-d[A]^n}{dt} = k[A]^n$$
$$r_B = \frac{d[B]^n}{dt} = k'[B]^n$$

-A y B son concentraciones que pueden medirse a partir de parámetros químicos, físicos, microbiológicos o sensoriales.

-k y k' representan las constantes de velocidad de reacción

-n y n' representan los órdenes de reacción.

Para determinar la reacción aparente en el deterioro de alimentos, se asignan diferentes valores y se analizan mediante ajustes lineales en gráficos de dispersión basados en datos experimentales. Estudios han demostrado que la mayoría de estos procesos siguen una cinética de orden cero, donde la velocidad de deterioro es constante, o de primer orden, en la que el deterioro ocurre de manera exponencial (Labuza, 1999).

VI. METODOLOGÍA

En la siguiente sección se detalla la metodología utilizada para establecer los parámetros críticos de deterioro en las barras de granola en función de su formulación.

A. Determinación de parámetros críticos

Se elaboró un cuadro en el que, a partir de los ingredientes de la formulación, se identificaron los posibles mecanismos de deterioro asociados a cada componente. Para esta evaluación se revisó la bibliografía técnica y científica relacionada con snacks, cereales y productos de baja humedad, lo que permitió establecer qué parámetros podían representar un riesgo significativo para la calidad del producto. Posteriormente, a cada parámetro se le asignó la metodología de análisis más adecuada con el fin de contar con herramientas objetivas que permitieran monitorear la evolución durante el almacenamiento.

B. Determinación de cantidad de muestras por almacenar

Para determinar la cantidad de muestras a almacenar se tomó en cuenta que todo el producto destinado al estudio de vida de anaquel debía provenir del mismo lote de producción. Además, se consideró la cantidad de ensayos fisicoquímicos a realizar, con sus respectivas repeticiones, y la cantidad de panelistas esperados para la evaluación sensorial.

Según Hough (2010), para determinar la vida de anaquel del producto se requieren de al menos seis intervalos de tiempo, es decir, seis puntos distintos. Además, establece que los productos deben ser sometidos a un mínimo de tres temperaturas diferentes y una humedad controlada.

Por lo tanto, se estableció que el ensayo de vida útil debía ser de un mínimo de 12 semanas o hasta llegar al fallo sensorial con un panel de consumidores evaluando las características críticas sensoriales.

Se estableció el plan de muestreo de la siguiente manera:

- 12 muestras x 13 semanas = 156 barras para fisicoquímicos
- 20 muestras x 13 semanas x 4 barras = 1040 barras para sensorial
- 300 barras de cada tipo

De manera que, en cada cabina se tuvo la siguiente distribución:

Cuadro 4. Distribución de cantidad de muestras para cada cabina

| <i>Muestra</i> | <i>Cantidad de muestras a almacenar a temperatura ambiente con loggers (25°C)</i> | <i>Cantidad de muestras a almacenar a temperatura de 35°C con H. Relativa de 80%</i> | <i>Cantidad de muestras a almacenar a temperatura de 45°C con H. Relativa de 80%</i> |
|--|---|--|--|
| <i>Barritas con glicerina + empaque metalizado</i> | 105 | 105 | 105 |
| <i>Barritas con glicerina + empaque transparente</i> | 105 | 105 | 105 |
| <i>Barritas sin glicerina + empaque metalizado</i> | 105 | 105 | 105 |
| <i>Barritas sin glicerina + empaque transparente</i> | 105 | 105 | 105 |
| <i>Total por cabina</i> | 420 | 420 | 420 |
| <i>Total barritas estudio</i> | | 1,260 | |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5. Determinación de cantidad de muestras a extraer durante las semanas de análisis de las barras

| <i>Muestra</i> | <i>Tipo de análisis</i> | <i>Cantidad de muestras a analizar a 25°C con loggers</i> | <i>Cantidad de muestras a analizar a 35°C con 80 %HR</i> | <i>Cantidad de muestras a analizar a 45°C con 80 %HR</i> |
|--|-------------------------|---|--|--|
| <i>Barritas con glicerina + empaque metalizado</i> | Fisicoquímico | 3 | 3 | 3 |
| | Sensorial | 12 | 12 | 12 |
| <i>Barritas con glicerina + empaque transparente</i> | Fisicoquímico | 3 | 3 | 3 |
| | Sensorial | 12 | 12 | 12 |
| <i>Barritas sin glicerina + empaque metalizado</i> | Fisicoquímico | 3 | 3 | 3 |
| | Sensorial | 12 | 12 | 12 |
| <i>Barritas sin glicerina + empaque transparente</i> | Fisicoquímico | 3 | 3 | 3 |
| | Sensorial | 12 | 12 | 12 |
| <i>Total de muestras a tomar por cabina</i> | | 60 | 60 | 60 |
| <i>Total de muestras tomadas durante el estudio</i> | | | 1,260 | |

Fuente: Elaboración propia.

C. Diseño de almacenamiento

El diseño de almacenamiento tuvo una duración aproximada de 13 semanas, durante las cuales se realizó un muestreo periódico para evaluar la estabilidad del producto. Cada 2 semanas se extrajeron muestras para realizar análisis fisicoquímicos y sensoriales; para los análisis fisicoquímicos se emplearon 4 muestras en triplicado, totalizando 12 unidades por cada punto de muestro, mientras que para el análisis sensorial se destinaron 80 barras distribuidas en 20 muestras para cada una de las cuatro variaciones del producto.

D. Condiciones de almacenamiento en cabinas para pruebas aceleradas

Dado que la ecuación de Arrhenius para la determinación de vida útil requiere de al menos tres temperaturas y únicamente se disponía de dos cabinas, se optó por utilizar la temperatura ambiente como tercera referencia. Para ello, se utilizó un logger de temperatura que se colocó dentro de una de las cajas en donde se encontraban las muestras almacenadas a 25°C. Las otras dos temperaturas de referencia fueron de 35°C y 45°C a una humedad relativa controlada de 80%.

E. Elaboración de barras de granola

La elaboración de las barras se llevó a cabo conforme a lo establecido en el Marco Teórico. En primer lugar, se pesaron por separado los ingredientes secos, las inclusiones y los ingredientes húmedos. Estos últimos se mezclaron para formar un jarabe, el cual fue calentado hasta alcanzar una temperatura de 93°C. Luego, utilizando una mezcladora industrial, se integraron los ingredientes secos y las inclusiones con el jarabe caliente. Posteriormente, la mezcla fue moldeada presionándola sobre bandejas hasta obtener una estructura compacta y uniforme. Finalmente, las barras se enfriaron en un cuarto frío a -4°C durante dos horas antes de ser empacadas en los dos tipos de envase establecidos en el estudio: polipropileno biorientado metalizado y polipropileno biorientado transparente.

F. Análisis proximal

Se cuantificaron los macronutrientes presentes en la barra de granola mediante un análisis proximal, que incluyó cantidad de proteína, grasa total, carbohidratos, porcentaje de ceniza y porcentaje de humedad. Dichos análisis se realizaron en un laboratorio externo conforme a métodos oficiales de la AOAC. Se aplicaron los métodos AOAC 2001.11 para proteína, AOAC 920.39 para grasa total, AOAC 923.03 para cenizas y AOAC 925.10 para la determinación de humedad; los carbohidratos totales se determinaron por diferencia.

Para expresar los resultados del análisis proximal en gramos, se realizó una conversión a partir de los porcentajes obtenidos en base húmeda. La metodología consistió en multiplicar el valor porcentual de cada componente por el peso neto de la barra de granola, considerando que el porcentaje representa la fracción en 100 g de muestra. De esta forma, los gramos de cada nutriente se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$g \text{ de nutriente} = \frac{\% \text{ nutriente}}{100} * \text{peso de la barra (g)}$$

Este procedimiento permitió obtener la cantidad absoluta de cada macronutriente por porción de 23 g, lo cual facilita la interpretación de los resultados en términos de aporte nutricional real del producto.

G. Evaluación de actividad de agua como parámetro crítico de deterioro

- Se determinó la actividad de agua de las muestras de barras de granola mediante el equipo Aqua Lab Series 3 TE. Para esto, se necesitó triturar la muestra inmediatamente después de abrir el empaque, colocarla en el porta muestra e introducirla en el equipo.
- Se realizó dicho análisis en triplicado para cada tipo de muestras (con glicerina, sin glicerina, con glicerina en empaque de polipropileno metalizado, con glicerina en empaque de polipropileno transparente, sin glicerina en empaque de polipropileno metalizado y sin glicerina en empaque de polipropileno transparente).

H. Evaluación de porcentaje de humedad y dureza como parámetro crítico de deterioro

- Se determinó el contenido de humedad en las muestras mediante una balanza de humedad marca Ohaus Pioneer Modelo MB23. Para ello se trituró la muestra inmediatamente después de abrir el empaque y se colocaron 5 gramos de muestra sobre la balanza. Este procedimiento se realizó en triplicado para cada una de las cuatro muestras.
- Se realizó un ensayo de dureza, por triplicado, en cada una de las cuatro muestras utilizando un texturómetro Ametek Brookfield CT3 con el accesorio TA-CTP y la sonda TA3/100, recomendados en el manual para productos tipo barra. La prueba se configuró en modo compresión, con distancia objetivo de 1.00 mm, carga de disparo de 7 g y velocidad de ensayo de 5.00 mm/s.

I. Evaluación de oxidación como parámetro crítico de deterioro

Para la determinación del índice de peróxidos y del índice de anisidina se utilizó el equipo CDR FoodLab, una herramienta diseñada para realizar controles de calidad de manera rápida, precisa e intuitiva en alimentos y bebidas. Su tecnología permite obtener resultados confiables en cuestión de minutos. Gracias a su diseño accesible, no es necesario contar con un laboratorio convencional ni con personal altamente especializado, ya que cualquier operador puede ejecutar las pruebas sin experiencia previa en análisis químicos, lo que lo convierte en una solución práctica y eficiente para el control de calidad (CDR FoodLab, 2025).

- **Evaluación de índice de peróxidos**

La detección del índice de peróxidos se realizó siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante:

1. Triturar finamente la barra de granola a analizar.
2. Adicionar 1 gramo a un tubo de centrífuga.
3. Adicionar 3 mL de mezcla extra fluida (forma parte del kit).
4. Homogeneizar la muestra durante 10 minutos.
5. Centrifugar durante 1 minuto a 5,000 revoluciones por minuto.
6. Recuperar el sobrenadante y agregarlo a las celdas de análisis del equipo.
7. Seleccionar “Curvas de Índice de Peróxidos” y obtener los datos del análisis.

(CDR FoodLab, 2025).

Para este análisis, se seleccionaron las muestras con glicerina y empaque metalizado correspondientes a las semanas 2, 4 y 6 del periodo de almacenamiento, junto con una muestra control. La elección de esta combinación específica se basó en que existía una limitación en la disponibilidad de reactivos para llevar a cabo el análisis y, como dicha formulación mostró un mejor desempeño en los demás parámetros evaluados, se obligó a priorizar. Las semanas se eligieron debido a los patrones observados en las curvas de evolución del índice de peróxidos, en donde se identificó una disminución significativa en la semana 6. Evaluar estos cuatro puntos permitió capturar el comportamiento inicial, intermedio y de posible declive en la concentración de peróxidos, aportando una visión más completa sobre la estabilidad lipídica de las muestras.

- **Evaluación de índice de anisidina**

La detección del índice de anisidina se realizó siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante:

1. Triturar finamente la barra de granola a analizar.
2. Adicionar 1 gramo a un tubo de centrífuga.
3. Adicionar 3 mL de mezcla extra fluida (forma parte del kit).
4. Homogeneizar la muestra durante 10 minutos.
5. Centrifugar durante 1 minuto a 5,000 revoluciones por minuto.
6. Recuperar el sobrenadante y agregarlo a las celdas de análisis del equipo.
7. Encender el equipo y esperar a que se estabilice a 37°C.
8. Seleccionar “índice de p-anisidina para grasas y aceites”.
9. Añadir a la cubeta el volumen de muestra de blanco e incubar según indica la pantalla.

10. Insertar la cubeta en la celda y presionar “read” para registrar la absorbancia antes del valor de anisidina.
11. Retirar la cubeta, añadir el reactivo R2, mezclar e incubar.
12. Leer nuevamente, el equipo calcula y muestra el índice de anisidina automáticamente.

(CDR FoodLab, 2025).

Inicialmente, la planificación del estudio consideraba únicamente la determinación del índice de peróxidos como indicador primario de oxidación. No obstante, los resultados obtenidos en las primeras semanas presentaron valores poco consistentes con lo esperado para este tipo de producto, lo que generó dudas acerca de la interpretación del fenómeno de deterioro lipídico únicamente con dicho parámetro. En consecuencia, se decidió complementar el análisis con la determinación del índice de anisidina, el cual evalúa la presencia de compuestos de oxidación secundaria como aldehídos. La incorporación de este segundo índice permitió obtener una visión más completa del proceso de oxidación, facilitando la interpretación de los resultados y fortaleciendo la validez de las conclusiones respecto a la estabilidad de las barras de granola.

J. Evaluación sensorial como parámetro crítico de deterioro

Para la evaluación sensorial, se realizó una prueba de aceptación y preferencia cada dos semanas utilizando una escala hedónica de 9 puntos, como lo realizó Vásquez (2019) en la evaluación de *Vida útil sensorial de galletas tipo soda y oblea rellena*. En dicha escala se evaluó la aceptabilidad general, de sabor y de textura del producto y se estableció que la calificación de 1 representó “me disgusta muchísimo” y la calificación de 9 representó “me gusta muchísimo”.

Para tal fin, el panel sensorial se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la empresa. Inicialmente se había establecido que en total debían ser 80 panelistas, los cuales tenían que ser los mismos durante todo el estudio debido a la necesidad de mantener la constancia del grupo, ya que el panel debe cumplir con las características de un estudio basado en consumidores con repetibilidad controlada, sin recurrir a una selección aleatoria de participantes. Sin embargo, durante el primer panel sensorial no se obtuvo resultados satisfactorios con respecto a la muestra control, por lo que se redujo el número a únicamente 40 panelistas que sí cumplían con ser el público objetivo. Por lo tanto, 20 panelistas evaluaron las muestras con glicerina y 20 panelistas las muestras sin glicerina.

Asimismo, en las formulaciones con glicerina, a 25 °C y 35 °C y en ambos empaques, se extendió la evaluación una semana adicional para los tres atributos sensoriales, ya que no se había alcanzado el fallo sensorial. En las formulaciones sin glicerina, también a 25 °C y 35 °C y en ambos empaques, se añadió una semana extra únicamente para sabor y aceptación general, con el fin de verificar hasta qué punto la textura influía en la preferencia del consumidor.

Las encuestas se pasaron mediante un formulario virtual. El formato se encuentra en el Anexo 3.

K. Determinación de tiempo de vida útil mediante ecuación de Arrhenius

Para el análisis de la información obtenida se construyó una base de datos con todas las variables evaluadas, el cual sirvió como para generar una matriz de correlación utilizando el software estadístico RStudio. Este procedimiento permitió analizar de forma conjunta las relaciones entre los distintos parámetros evaluados, con el objetivo de identificar cuáles tienen mayor influencia sobre la vida útil de las barras de granola. El código utilizado para este análisis se presenta en el Anexo 2.

Para interpretar la matriz de correlación se identificó el parámetro que tuviera una influencia significativa sobre los demás y cumpliera con estos tres criterios: contar con un punto de corte validado, mostrar variación a lo largo del tiempo y ser de medición directa, reproducible y sencilla. Con base en ello, la actividad de agua se consideró el indicador más adecuado para modelar la vida útil.

Una vez identificado el parámetro crítico de calidad y, contando con sus respectivos datos registrados en función del tiempo y temperatura, se procedió a determinar el orden de reacción mediante el ajuste de los datos experimentales a modelos cinéticos de orden cero o uno. No obstante, durante el estudio se presentaron variaciones en las condiciones de humedad relativa dentro de las cámaras de almacenamiento acelerado, atribuibles a interrupciones eléctricas y otros factores externos. Estas fluctuaciones generaron irregularidades en los datos, por lo que se optó por aplicar un modelo de pronóstico lineal como estrategia de corrección y linealización, con el fin de garantizar la consistencia del análisis cinético y obtener una representación más fiable del comportamiento del producto a lo largo del tiempo.

Posteriormente, se utilizó la siguiente ecuación de Arrhenius

$$k = Ae^{-Ea/RT}$$

En donde:

k: constante de velocidad de degradación

A: factor pre-exponencial

Ea: energía de activación (J/mol)

R: constante de gases (8.314 J/mol*K)

T: temperatura absoluta (K)

Finalmente, se procedió a la linealización de la ecuación de Arrhenius a su forma logarítmica, con el fin de graficar los valores de $\ln(k)$ en función de la inversa de la temperatura

(1/T). A partir del gráfico de dispersión obtenido, se calculó la pendiente de la recta para obtener el valor de energía de activación del proceso de deterioro. Por último, se determinó el tiempo necesario para alcanzar el punto de corte del parámetro crítico de calidad.

Para cada temperatura, expresada en Kelvin, la evolución de la actividad de agua se ajustó a un modelo de orden cero:

$$Aw(t) = Aw_0 + k$$

La constante k se obtuvo como la pendiente de la regresión lineal de Aw vs Tiempo (Semanas). Luego, se aplicó el modelo de Arrhenius en su forma lineal:

$$\ln k = \ln A - \frac{Ea}{R} * \frac{1}{T}$$

Posteriormente, se realizó una regresión de ln k contra 1/T; en donde la pendiente de esa recta cumple con ser $m = -\frac{Ea}{R}$, por lo que la energía de activación se calculó como $Ea = -mR$, siendo R el valor de la constante de gases.

Para la determinación de la vida útil mediante el método de Arrhenius se utilizó Microsoft Excel, donde se efectuaron las correlaciones, se linealizaron los datos y se obtuvieron las ecuaciones de la recta para los ajustes de Aw vs. tiempo y ln(k) vs. 1/T.

L. Determinación de la combinación óptima de formulación y empaque

Para determinar la combinación óptima del estudio, se compararon los días en que cada tratamiento logró mantener condiciones adecuadas de calidad fisicoquímica, sensorial e inocuidad microbiológica. Se consideró como óptima la formulación que demostró mayor estabilidad a lo largo del tiempo sin superar los límites críticos establecidos y que mantuvo una aceptabilidad sensorial favorable por parte de los consumidores. De este modo, la selección se fundamentó en aquella combinación de ingredientes y tipo de empaque que permitió conservar las características esperadas del producto, garantizando su inocuidad, calidad y aceptación hasta el final de su vida útil, lo cual será clave para su futura implementación en la línea de producción.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta investigación se evaluó el efecto del uso de un agente humectante y dos tipos de empaque en la estabilidad de barras de granola elaboradas en una industria alimentaria guatemalteca. El estudio se desarrolló en doce fases que incluyeron desde la caracterización de materias primas y el proceso de elaboración, hasta la determinación de vida útil mediante pruebas aceleradas aplicando la ecuación de Arrhenius. A lo largo del estudio se analizaron parámetros fisicoquímicos y sensoriales con el fin de establecer la influencia de cada tratamiento en la conservación, aceptabilidad y calidad del producto.

A. Determinación de parámetros críticos

Con el fin de identificar los principales mecanismos de deterioro en las barras de granola, se realizó un análisis de los ingredientes de la formulación y su relación con posibles riesgos de estabilidad durante el almacenamiento. Para cada componente se determinó el factor de deterioro que representa y la metodología más adecuada para su evaluación. Esta clasificación permitió anticipar los cambios fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales que podrían comprometer la calidad del producto, facilitando así el establecimiento de parámetros críticos para el seguimiento de su vida útil.

Cuadro 6. Parámetros de deterioro según ingredientes de las barras de granola

| <i>Ingrediente</i> | <i>Factor de deterioro que representa</i> | <i>Método para determinar</i> |
|----------------------|---|--|
| <i>Glucosa</i> | Higroscopicidad. La glucosa tiene una alta afinidad por el agua, favoreciendo la captación de humedad del ambiente. | Actividad de agua y humedad |
| <i>Azúcar</i> | Higroscopicidad. Su capacidad de absorber agua acelera procesos de cristalización. | Actividad de agua y humedad |
| <i>Miel de abeja</i> | Fermentación. Debido a su contenido de azúcares reductores, la miel puede favorecer el crecimiento de levaduras osmófilas si la actividad de agua se eleva. | Recuento de levaduras osmófilas, actividad de agua |
| <i>Maltodextrina</i> | Higroscopicidad. La ganancia de agua puede provocar aglomeración. | Actividad de agua y humedad |

| <i>Ingrediente</i> | Factor de deterioro que representa | Método para determinar |
|---------------------------|--|---|
| <i>Aceite vegetal</i> | Rancidez oxidativa. El deterioro lipídico produce peróxidos y aldehídos que generan olores y sabores rancios | Índice de peróxidos |
| <i>Glicerina vegetal</i> | Higroscopicidad. Puede aumentar la captación de humedad ambiental. | Actividad de agua y humedad |
| <i>Lecitina</i> | Rancidez oxidativa. Los fosfolípidos presentes en la lecitina son susceptibles a oxidarse | Índice de peróxidos |
| <i>Avena</i> | Contaminación microbiana. Al aumentar la actividad de agua, existe el riesgo de proliferación microbiana. | Recuento de microorganismos |
| <i>Nuez de macadamia</i> | Rancidez oxidativa. Su alto contenido de grasas insaturadas la hace altamente vulnerable a la oxidación. | Índice de peróxidos |
| <i>Ajonjolí</i> | Rancidez oxidativa. Contienen aceites insaturados que, al oxidarse, generan compuestos indeseables | Índice de peróxidos |
| <i>Vitaminas</i> | Degradación química. Las vitaminas presentes en la formulación, en especial las liposolubles, pueden degradarse por exposición a oxígeno, luz o calor. | Espectrofotometría/ Volumetría óxido-reducción Titulación Yodométrica |
| <i>Almendras</i> | Rancidez oxidativa. Al ser ricas en aceites insaturados, las almendras también son propensas a la oxidación. | Índice de peróxidos |

Fuente: Elaboración propia a partir de: Mora, Vanare, & Pegg, 2025; Cardona, 2019.

Con base en lo presentado en el Cuadro 6, se evaluaron los ingredientes de la formulación y, de acuerdo con la literatura, se identificaron como mecanismos de deterioro más probables en barras tipo granola la autooxidación de lípidos insaturados provenientes de la avena, frutos secos y semillas, cambios de actividad de agua y humedad debido a la cantidad de ingredientes líquidos

que alteran la textura y reacciones de pardeamiento que modulan el color y notas de sabor durante el almacenamiento, especialmente en matrices con azúcares reductores y proteínas. Paralelamente, se identificó que el riesgo microbiológico es bajo media vez el producto se mantenga en una zona de actividad de agua menor a 0.65 (Mora, Vanare, & Pegg, 2025; Cardona, 2019).

B. Análisis proximal

Se elaboraron las barras de granola conforme a la metodología detallada en el Marco Teórico, garantizando que todas las muestras analizadas provinieran de un mismo lote de producción con el fin de asegurar la uniformidad en la formulación y el procesamiento. Posteriormente, se envió una muestra al laboratorio para la realización de un análisis proximal completo, cuyos resultados obtenidos se presentan a continuación:

Cuadro 7. Análisis proximal de muestra control de barra de granola

| <i>Análisis</i> | <i>Gramos (g)</i> | <i>Porcentaje (%)</i> | <i>Desviación Estándar</i> |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|
| <i>Humedad</i> | 1.54 | 6.69 | 0.03 |
| <i>Grasa total</i> | 3.08 | 13.40 | 0.18 |
| <i>Proteína</i> | 2.66 | 11.56 | 0.82 |
| <i>Ceniza</i> | 0.25 | 1.07 | 0.04 |
| <i>Carbohidratos totales</i> | 15.47 | 67.28 | 0.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, la barra presenta un bajo contenido de humedad, lo cual es favorable para su estabilidad microbiológica y fisicoquímica. El porcentaje de grasa es relativamente elevado, lo que puede representar un riesgo de oxidación lipídica a lo largo del almacenamiento, por lo que es importante monitorearlo. Además, el contenido proteico y de carbohidratos respalda su perfil nutricional como una fuente energética con aporte moderado de proteína, mientras que el bajo contenido de cenizas indica una cantidad reducida de minerales.

C. Ejecución del estudio

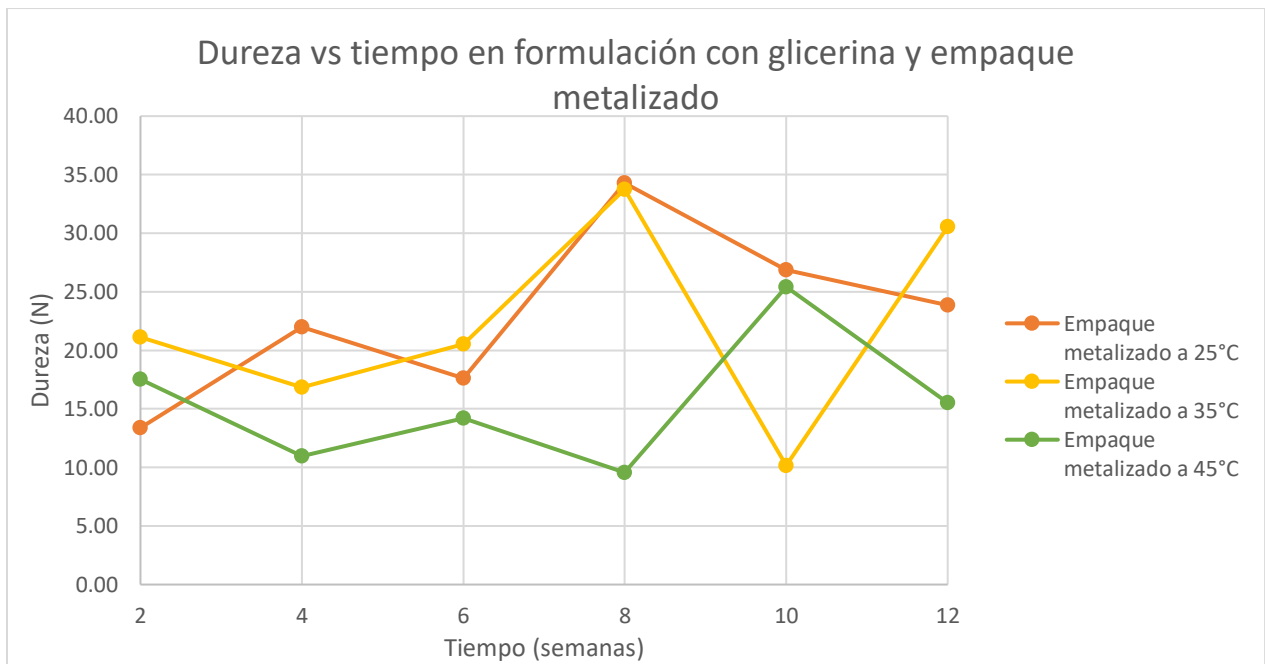
Durante el tiempo de estudio, se evaluó cada dos semanas la actividad de agua, humedad, dureza instrumental, índice de peróxidos y atributos sensoriales. Debido a fluctuaciones no sistemáticas entre mediciones, como la variación de humedad relativa y temperatura en las cámaras de vida acelerada, los datos fisicoquímicos se linealizaron mediante un modelo de pronóstico lineal para atenuar el ruido experimental, conservar la tendencia y hacer comparables las series entre tratamientos. Con esta normalización, fue posible estimar de forma consistente los parámetros y

puntos de corte. A continuación, se presentan los resultados individuales para dichos parámetros críticos.

1. Textura y adhesividad

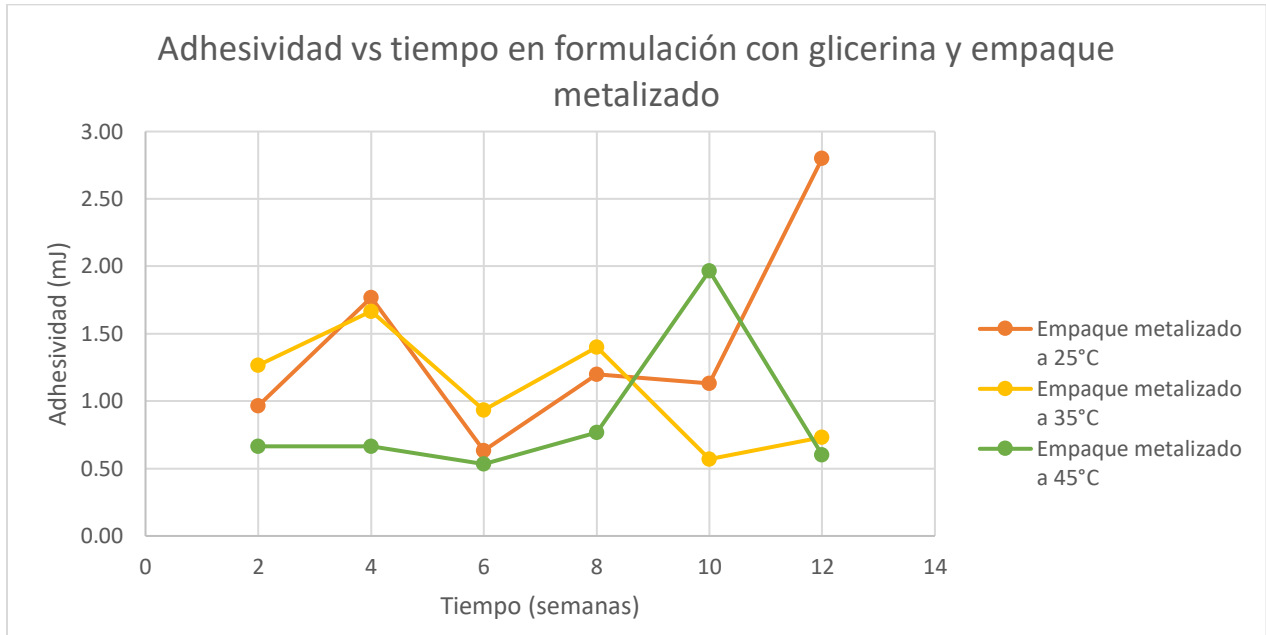
A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los parámetros de textura y adhesividad instrumental, los cuales permitieron comprender cómo la formulación, el tipo de empaque y las condiciones de almacenamiento influyeron en la consistencia y comportamiento mecánico de las barras de granola. El análisis incluyó las cuatro combinaciones de formulación y empaque evaluadas a las tres temperaturas de almacenamiento, con el fin de identificar las tendencias más representativas.

Figura 4. Evolución de la dureza instrumental en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



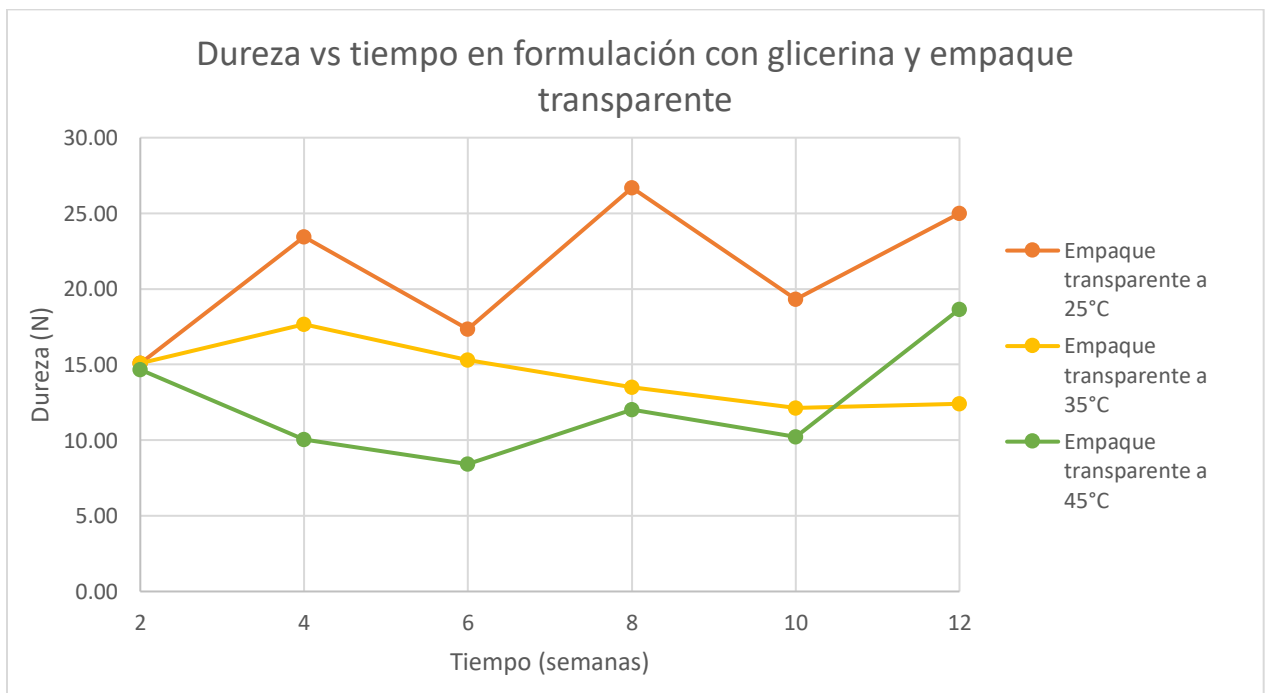
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Evolución de la adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



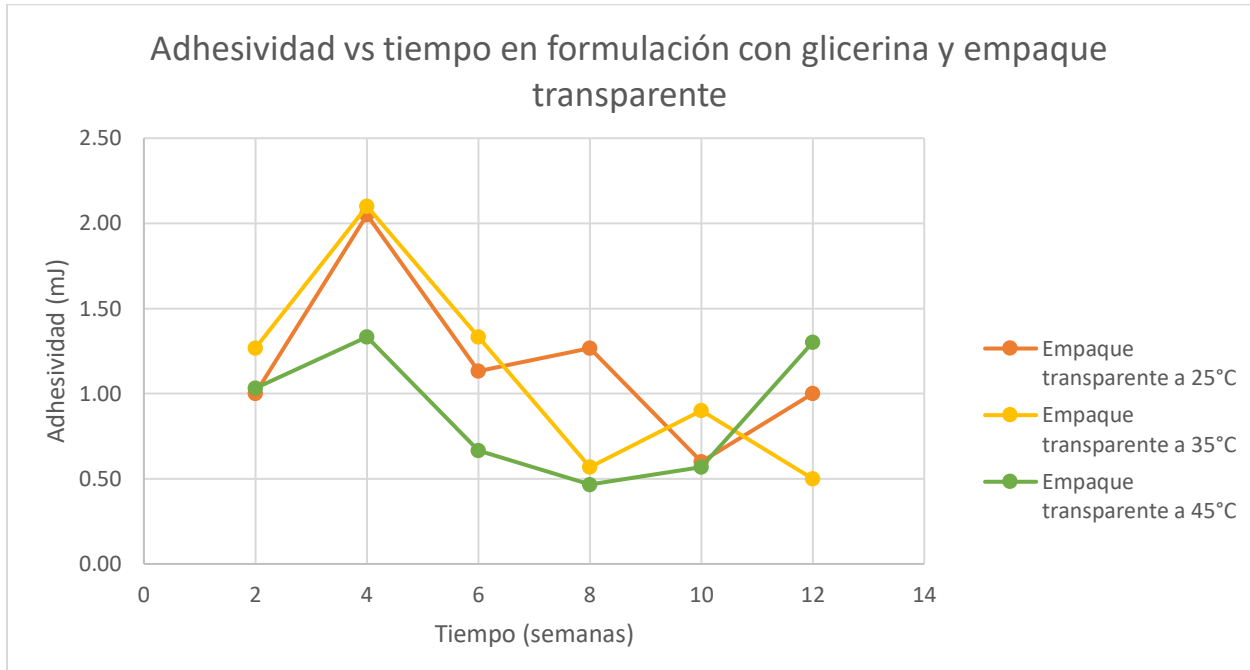
Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Evolución de la dureza instrumental en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



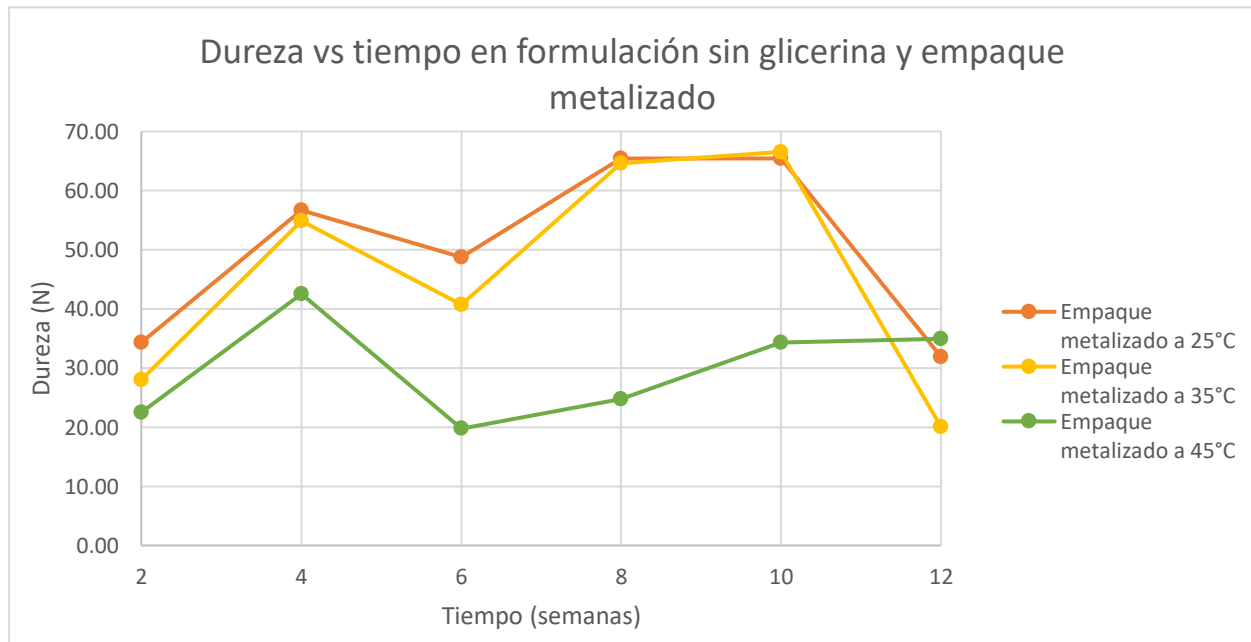
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Evolución de la adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



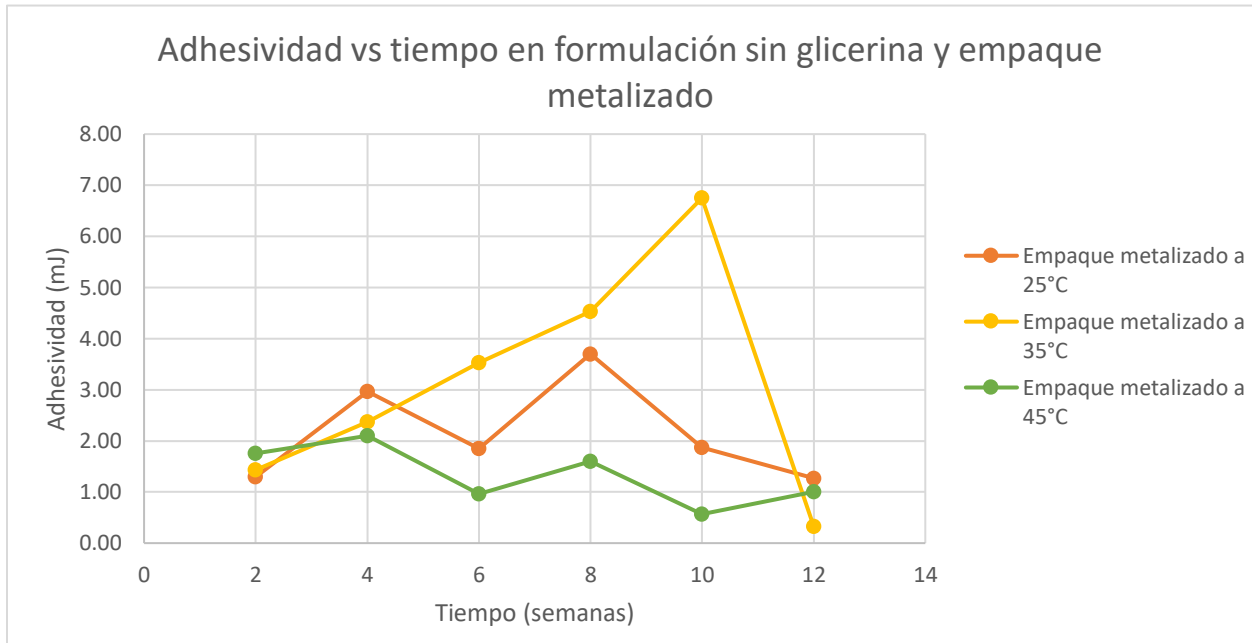
Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Evolución de la dureza instrumental en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



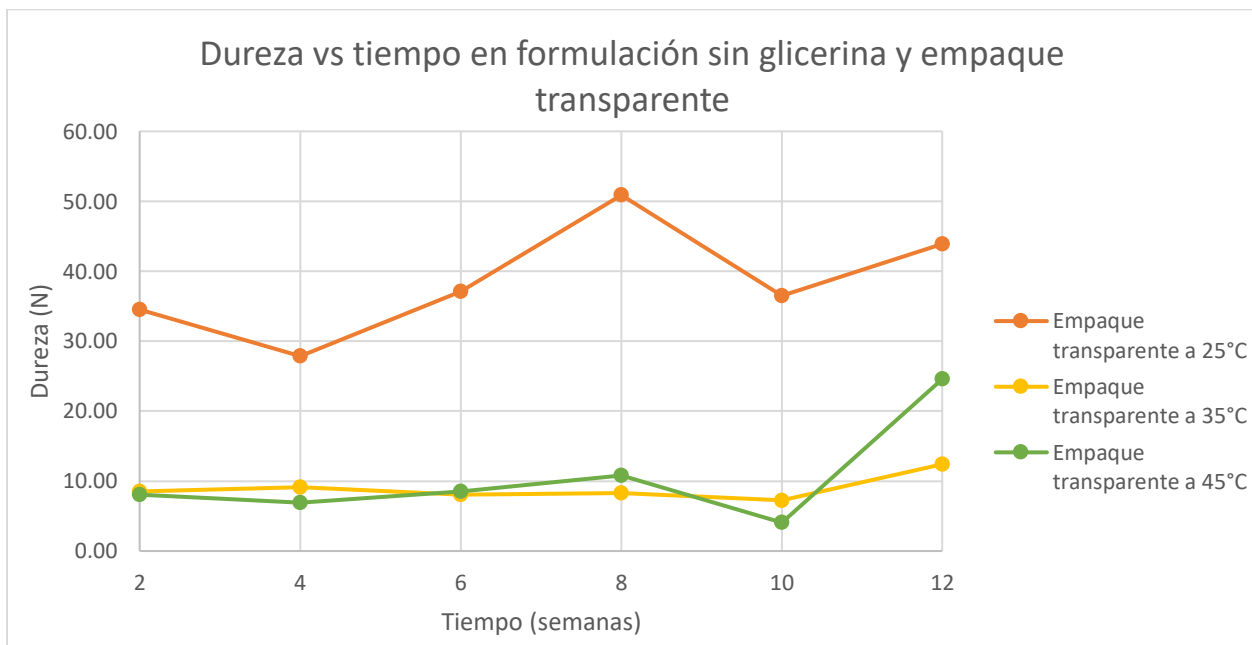
Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Evolución de la adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



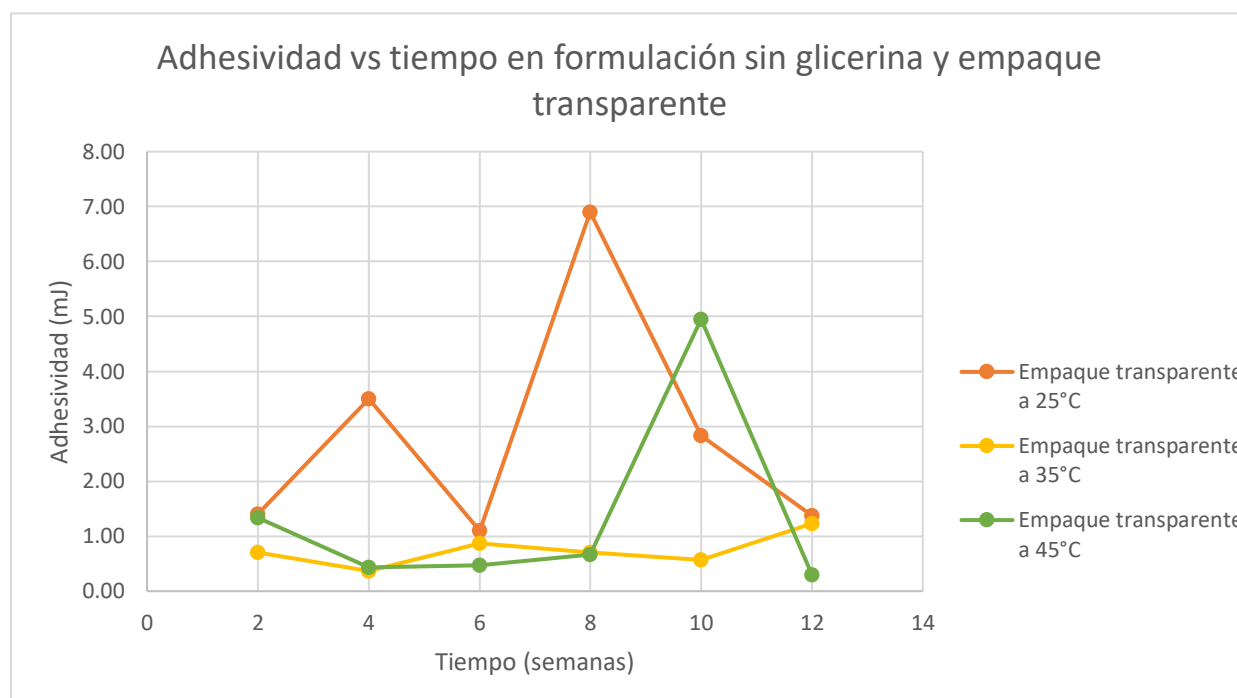
Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Evolución de la dureza instrumental en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Evolución de la adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



Fuente: Elaboración propia.

En la evaluación instrumental de dureza y adhesividad, las figuras 4 a 11 muestran que la incorporación de glicerina redujo de forma consistente la dureza respecto de las formulaciones sin el agente humectante. A 25°C, las barras con glicerina registraron rangos de dureza entre 13-34 N con empaque metalizado y de 15-27 N con empaque transparente, mientras que las sin glicerina alcanzaron valores de 34-65N y 28-50N, respectivamente. A 35°C y 45°C se mantuvo el mismo patrón, con valores inferiores de dureza en presencia de glicerina. Si bien en algunos casos se observaron aumentos transitorios de dureza, probablemente por cristalización parcial de azúcares, la tendencia global fue hacia una textura más blanda y estable en comparación con las muestras sin humectante. Este comportamiento concuerda con la función plastificante del glicerol ya que al disminuir la transición vítrea de la matriz, aumenta la movilidad molecular y desciende la dureza (Basiak, Lenart, & Debeaufort, 2018). Además, estudios recientes en barras de cereales y snacks confirman que la adición de polioles, como la glicerina, reduce la dureza inicial y mejora la palatabilidad del producto (Allai et al., 2022).

Para las temperaturas de 35°C y 45°C sin glicerina, se observó que los valores de dureza fueron sustancialmente mayores sobre todo en condiciones de barrera más efectiva, es decir, en el empaque metalizado. Este comportamiento evidencia que el tipo de empaque es determinante para la cinética de ablandamiento, ya que empaques de mayor barrera retardan la ganancia de humedad

y mantienen el producto más duro, mientras que en empaques más permeables se generan texturas más blandas pero con riesgo de pérdida de crocancia (Bauer, et al., 2022).

La adhesividad mostró incrementos marcados en condiciones específicas, principalmente en las barritas sin glicerina. A 25°C con empaque transparente se alcanzaron valores de 6.90 mJ, a 35°C con metalizado se obtuvo un valor máximo de 6.75 mJ y a 45°C con empaque transparente los valores llegaron a 4.95 mJ. Esta pegajosidad se le atribuye a la temperatura de transición vítrea del jarabe aglutinante, inducido por la combinación de humedad y temperatura, lo que convierte a la superficie del producto en uno gomoso y con mayor tendencia a adherirse. En contraste, si bien la adición de glicerina le brindó mayor suavidad a las barritas, estas formulaciones no presentaron picos de adhesividad elevados, probablemente porque la plasticización más uniforme de la matriz evitó que se concentrara la humedad en el producto (Basiak, Lenart, & Debeaufort, 2018).

Si bien las mediciones de dureza y adhesividad brindan una lectura objetiva de cómo evoluciona la textura durante el almacenamiento, al tratarse de un producto nuevo aún no se cuenta con un panel sensorial entrenado ni con umbrales de decisión que vinculen los valores instrumentales con la percepción del consumidor. La literatura indica que, en etapas tempranas de desarrollo, es necesario construir curvas de correlación entre mediciones instrumentales y evaluaciones sensoriales estandarizadas antes de adoptar la textura instrumental como criterio de vida útil. Por ello, en esta fase, la textura instrumental debe considerarse solo como herramienta complementaria, no como parámetro crítico (Hough, 2010).

2. Evaluación de oxidación

En la siguiente sección, se presentan los resultados correspondientes al análisis de oxidación lipídica en las barritas de granola con glicerina y empaque metalizado, evaluadas a distintas temperaturas de almacenamiento. Se determinaron los valores de índice de peróxidos como indicador de los compuestos primarios de oxidación y el índice de anisidina como referencia de los productos secundarios derivados de la descomposición de hidroperóxidos.

Cuadro 8. Determinación de índice de peróxidos y anisidina en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante las semanas 2,4 y 6

| <i>Muestra</i> | <i>Semana</i> | <i>meqO₂/kg (K= 2.010; Q=0.000)</i> | <i>Anisidina (K=100.000; Q=0.400)</i> |
|--|---------------|--|---|
| <i>Control glicerina</i> | 0 | 1.73 | - |
| <i>Glicerina empaque metalizado a 25°C</i> | 2 | 0.82 | 27.2 |
| <i>Glicerina empaque metalizado a 35°C</i> | 2 | 0.31 | - |
| <i>Glicerina empaque metalizado a 45°C</i> | 2 | 1.12 | - |
| <i>Glicerina empaque metalizado a 25°C</i> | 4 | 0.47 | 26.6 |
| <i>Glicerina empaque metalizado a 35°C</i> | 4 | 0.68 | - |
| <i>Glicerina empaque metalizado a 45°C</i> | 4 | 0.53 | - |
| <i>Glicerina empaque metalizado a 25°C</i> | 6 | 1.18 | 25.9 |

En donde el valor *K* corresponde a la pendiente de la curva de calibración y el valor *Q* al intercepto en el eje *Y*. El símbolo “-” indica que no se realizó la determinación de anisidina para esa muestra.

Fuente: Elaboración propia.

Dado que la formulación de las barras de granola incluyó semillas y frutos secos con alto contenido de lípidos insaturados, se consideró necesario evaluar la oxidación lipídica como un posible factor de deterioro. Estas determinaciones resultan relevantes porque la presencia de grasas en la matriz del producto puede favorecer la degradación oxidativa y dicha degradación se ve fuertemente influenciada por la temperatura de almacenamiento, que acelera tanto la formación como la descomposición de los peróxidos hacia compuestos secundarios. A partir de estas mediciones se buscó establecer si la oxidación lipídica constituía un parámetro crítico en la vida útil de las barras.

Los resultados individuales se presentan en el Cuadro 8, donde se aprecia que el índice de peróxidos permaneció en niveles muy bajos para todos los tratamientos. Se decidió hacer una prueba rápida con anisidina para evaluar el comportamiento y se obtuvo que estos resultados superaron las 20 unidades. Esto puede explicarse porque el índice de peróxidos mide hidroperóxidos, que son productos primarios de oxidación y que con el tiempo se descomponen en aldehídos y otros compuestos secundarios. En consecuencia, es probable que las muestras ya hubieran pasado la etapa de oxidación primaria y se encontraran en un estado más avanzado de

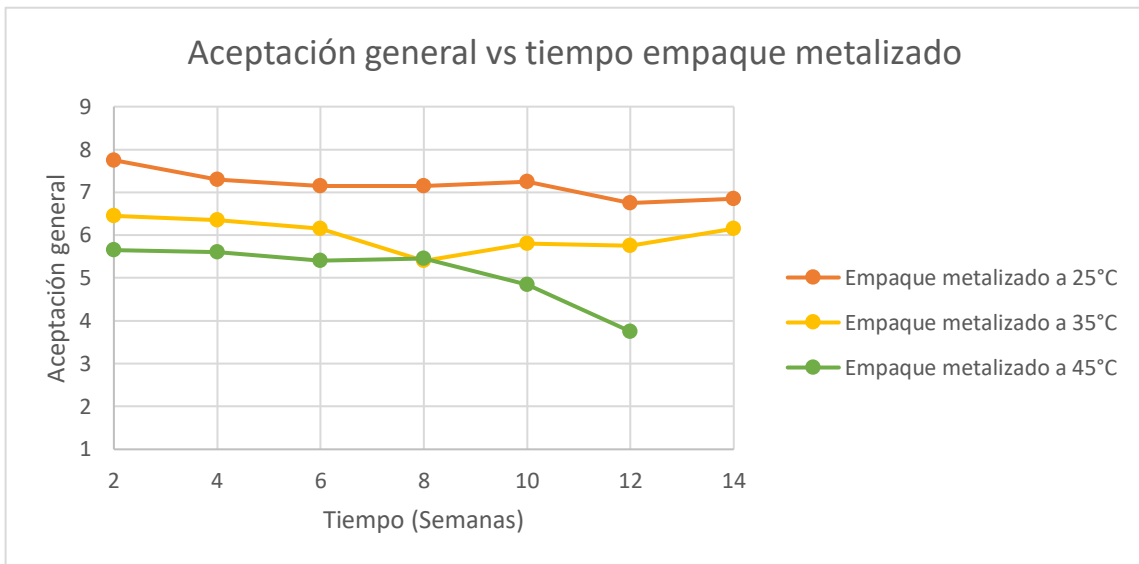
oxidación en el que los peróxidos ya no son detectables en grandes cantidades, pero sí los aldehídos, los cuales son determinados por la anisidina y confirman la presencia de rancidez (Abeyrathne, Nam, & Ahn, 2021).

Los resultados del análisis de oxidación evidencian que las barras presentaron un nivel elevado de compuestos secundarios de oxidación desde el inicio del almacenamiento, lo cual sugiere que las materias primas empleadas ya aportaban cierto grado de oxidación previo al proceso productivo. Sin embargo, este deterioro lipídico no fue percibido por los consumidores durante las evaluaciones sensoriales. Por lo tanto, la oxidación lipídica no se considera como un parámetro limitante de la vida útil de las barras dado que su impacto no compromete la calidad sensorial reconocida por el consumidor, además de que no existe una restricción normativa específica en cuanto a índice de peróxido o anisidina para este tipo de productos. Por lo que, aunque se confirma la presencia de oxidación desde etapas tempranas, esto no condiciona la vida útil del producto. Aún así, se recomienda implementar controles sistemáticos de oxidación en materias primas, al menos índice de peróxidos y anisidina por lote, y establecer especificaciones de recepción y rotación para reducir la carga oxidativa inicial y prevenir impactos futuros en la calidad del producto.

3. Análisis sensorial

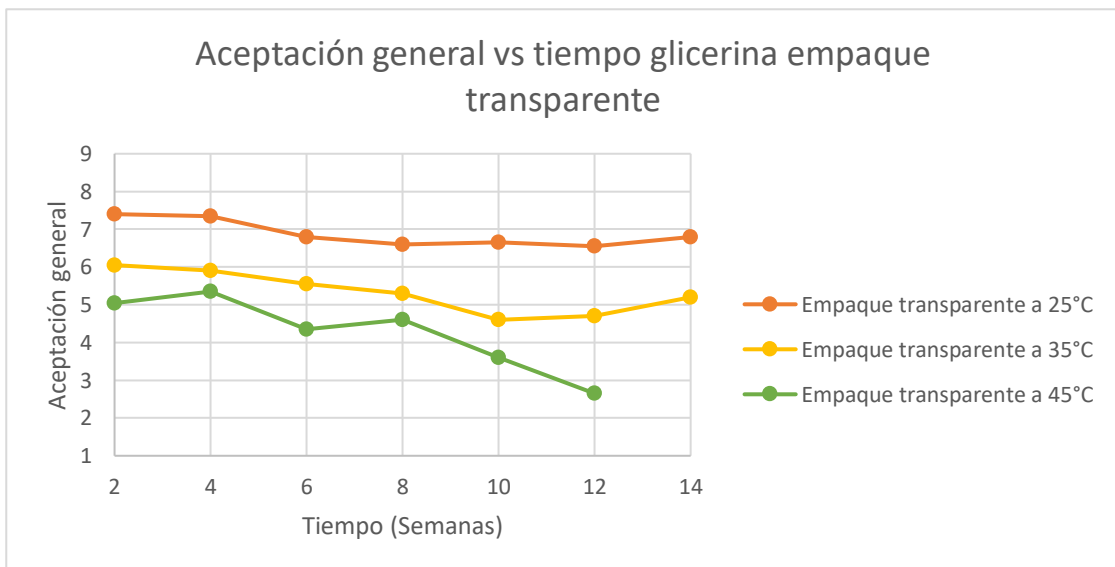
A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis sensorial realizado con consumidores. Este se enfocó en la evaluación de la aceptación general, sabor y textura de las barras de granola durante el almacenamiento y permitió identificar las variaciones en la percepción del producto a lo largo del tiempo y cómo el efecto de la formulación, tipo de empaque y temperatura juegan un papel importante en la preferencia del consumidor.

Figura 12. Evolución de la aceptación general en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



Fuente: Elaboración propia.

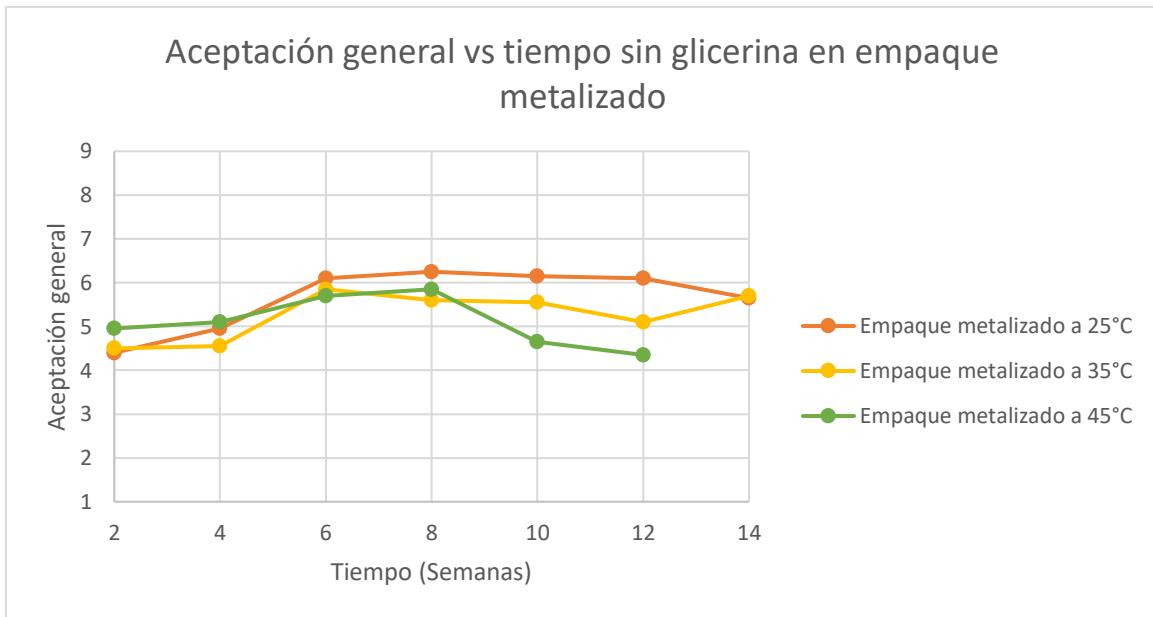
Figura 13. Evolución de la aceptación general en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



Fuente: Elaboración propia.

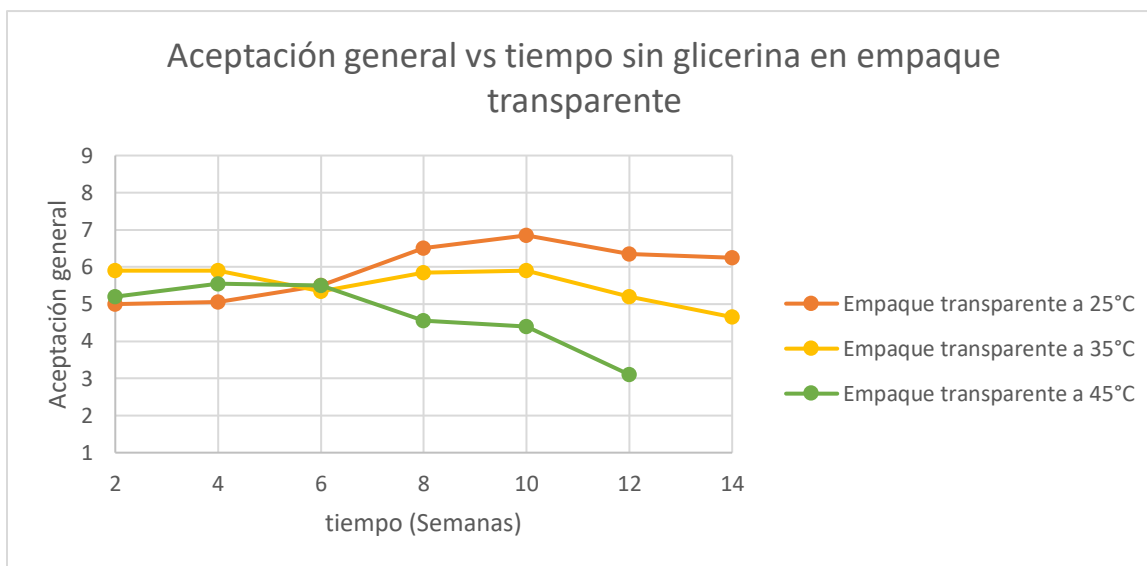
Como se puede observar en las figuras 12 y 13, para las muestras con glicerina se evidenció una tendencia negativa de aceptación con respecto al tiempo en todos los tratamientos, independientemente del tipo de empaque y la temperatura de almacenamiento. Esto puede deberse al efecto plastificante de la glicerina, ya que, si bien proporciona una mayor suavidad inicial y mejora la palatabilidad, también permite que el alimento capte mayor humedad en el tiempo, acelerando la transición de una textura crujiente hacia una más blanda y pegajosa. En cuanto al papel del empaque para estas combinaciones, el empaque metalizado permitió retrasar la pérdida de aceptación sensorial frente al empaque transparente, lo cual es coherente con las propiedades que tiene el empaque metalizado de presentar una mayor barrera frente a oxígeno y vapor de agua.

Figura 14. Evolución de la aceptación general en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15. Evolución de la aceptación general en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



Fuente: Elaboración propia.

En las barras sin glicerina se evidenció que para las muestras almacenadas a 25°C en ambos empaques y a 35°C en el empaque metalizado, la aceptación sensorial mostró una ligera tendencia positiva a lo largo del tiempo, esto puede observarse en las figuras 14 y 15. Esto pudo deberse a que, en ausencia de agente humectante, las barras recién elaboradas presentaban una textura inicial excesivamente dura, lo cual pudo afectar negativamente la percepción de los jueces. Sin embargo, durante el almacenamiento, la ganancia gradual de humedad suavizó el producto, reduciendo la dureza y haciendo que este fuera más agradable y fácil de masticar con el paso del tiempo y, por ende, mejor evaluado por los consumidores. Este comportamiento ha sido descrito previamente en alimentos de baja humedad, donde la sorción de agua provoca que un material inicialmente duro se vuelva más dúctil y fácil de masticar debido al efecto de plasticización y a la transición de un estado vítreo a uno gomoso (Harris & Peleg, 1996).

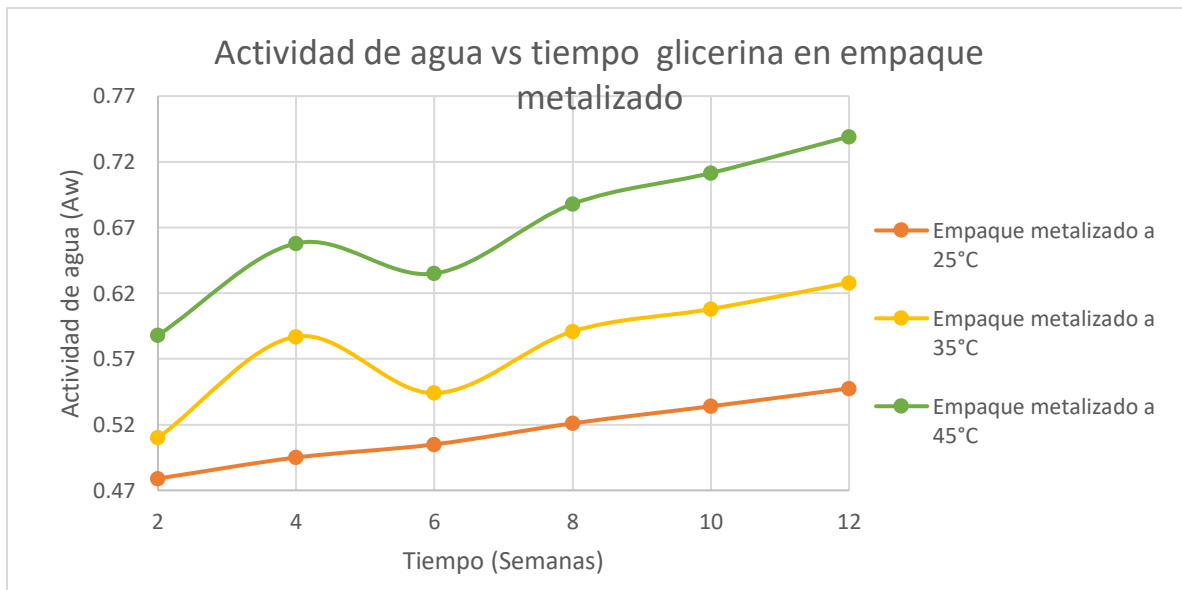
En contraste con los resultados previamente analizados, en las barras sin glicerina almacenadas con empaque transparente a 35°C y 45°C, así como en empaque metalizado a 45°C, la aceptación sensorial mostró una tendencia negativa. Este comportamiento era el esperado ya que la ausencia del agente humectante limitó la capacidad de la matriz para retener suavidad, haciendo que los cambios en textura dependieran principalmente de la eficiencia del empaque como barrera y de la severidad de la temperatura de almacenamiento. El empaque transparente, al presentar una barrera menos efectiva frente al vapor de agua que el metalizado, permitió una mayor captación de humedad que se ve reflejada en la caída de la aceptación a 35°C y, especialmente, a 45°C. Aunque el metalizado a 45°C también mostró una disminución de aceptación, se puede confirmar que la capa de aluminio del metalizado sí brinda una protección adicional frente a la humedad (Kiese et al., 2021).

Es importante destacar que, en este estudio, el componente sensorial no se consideró como un parámetro crítico para la determinación de vida útil debido a que el producto aún se encuentra en desarrollo y no existe un panel entrenado de textura ni un punto de corte sensorial validado; además, las pruebas se realizaron sobre prototipos y no sobre producto de línea, por lo que la reproducibilidad de proceso no está asegurada. Asimismo, la matriz de correlación tampoco mostró relaciones suficientemente sólidas y estableces como para modelar la vida útil desde la aceptación. Por ello, los resultados sensoriales se usaron de forma confirmatoria, mientras que la estimación de la vida útil se basó en variables fisicoquímicas que mostraron una tendencia clara.

4. Influencia de la actividad de agua y humedad sobre las características de la barra de granola

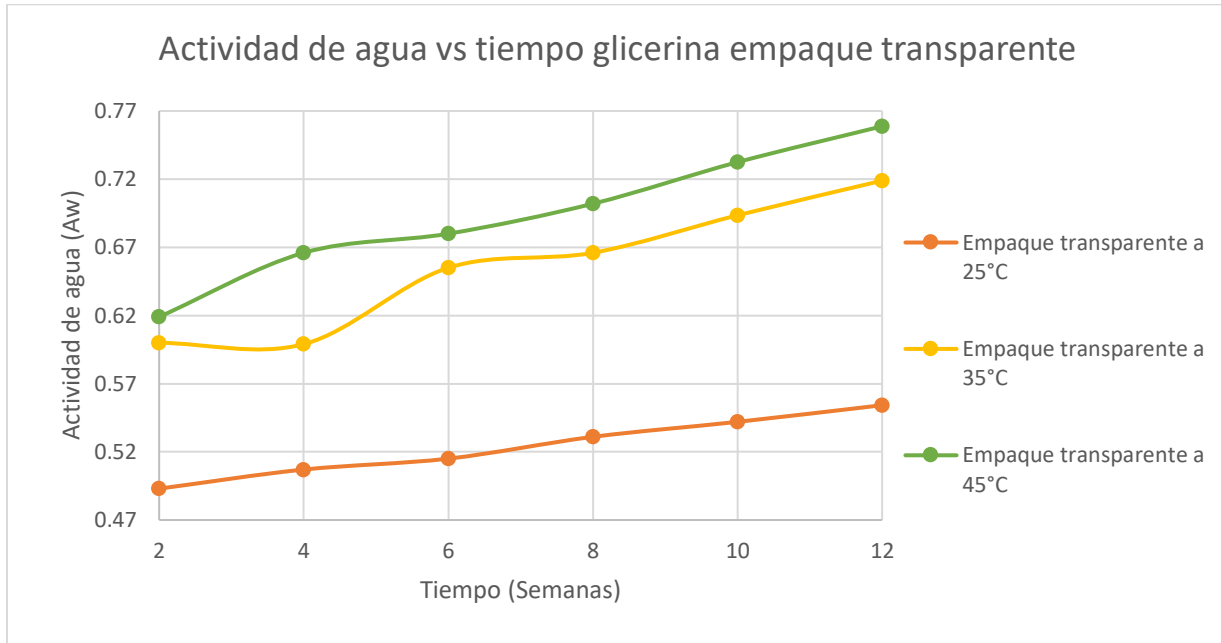
En la siguiente sección se presentan los resultados correspondientes a los análisis de actividad de agua y contenido de humedad de las barras de granola analizadas. Estos parámetros permitieron comprender cómo la formulación y tipo de empaque influyeron en la ganancia o pérdida de humedad del producto, así como su impacto en la textura, crocancia y estabilidad general del producto durante su vida útil.

Figura 16. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



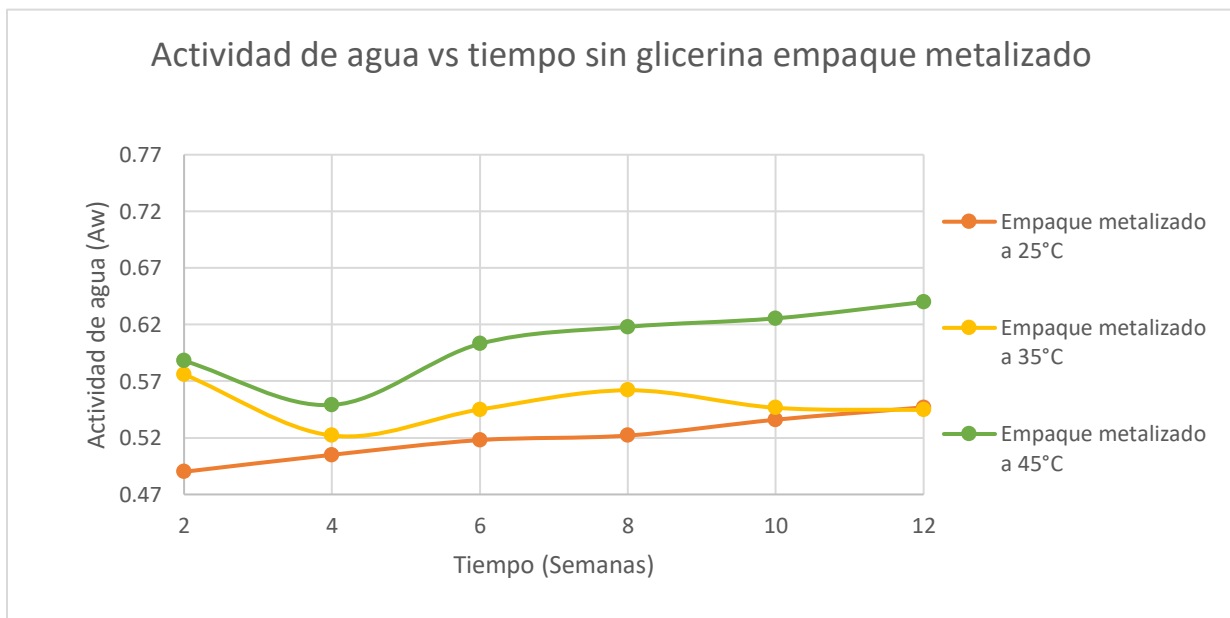
Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



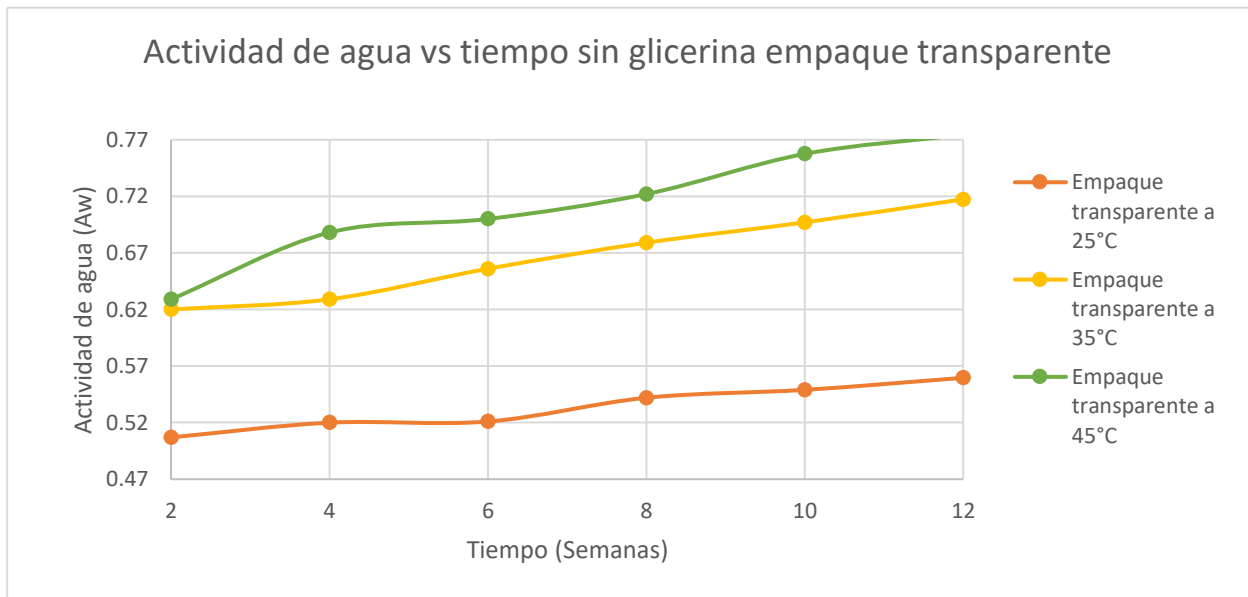
Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



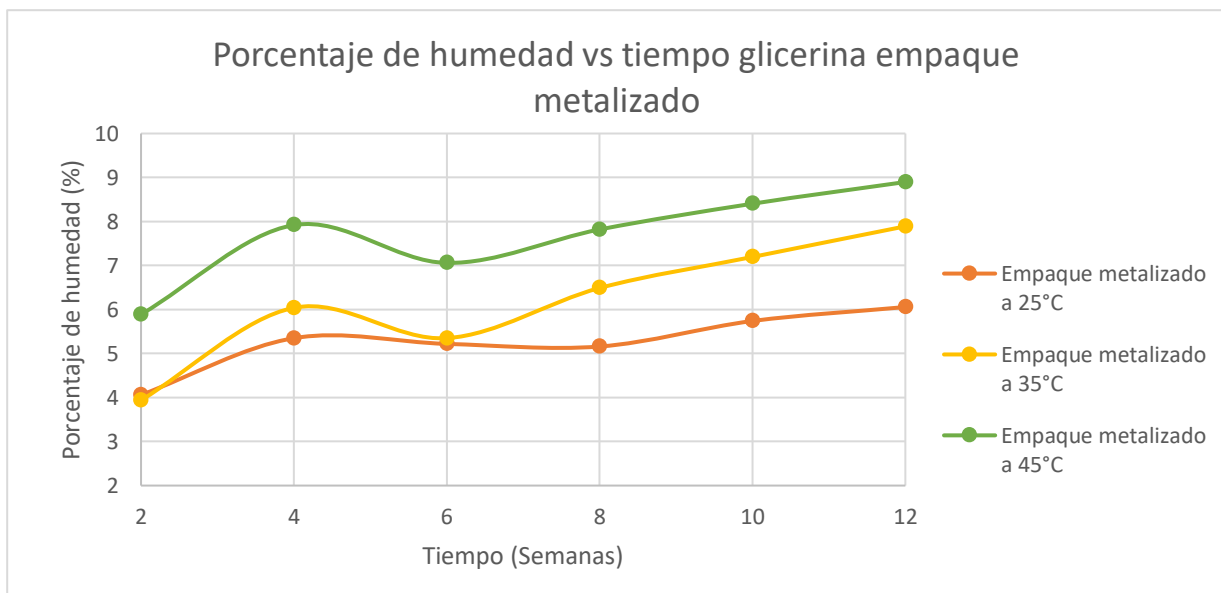
Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



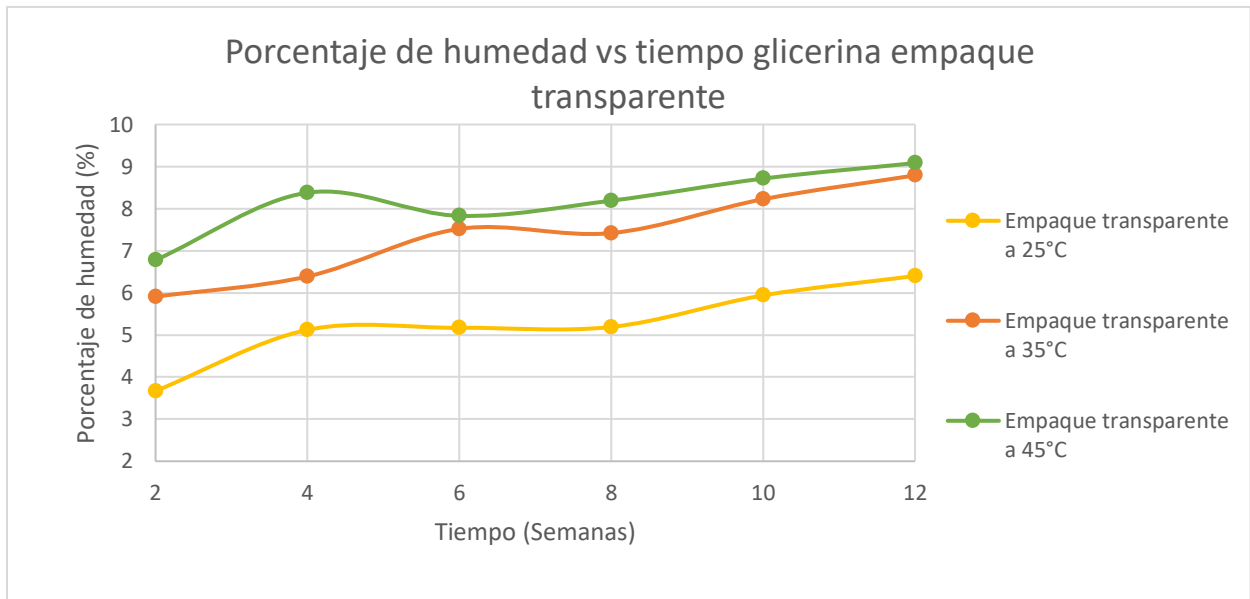
Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



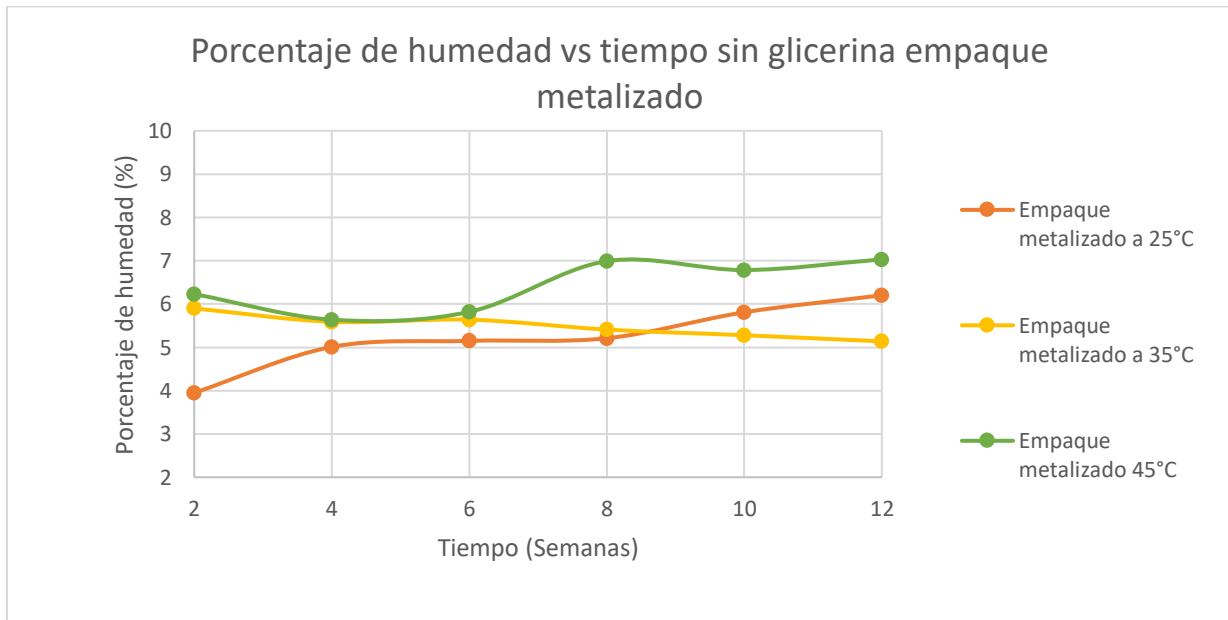
Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



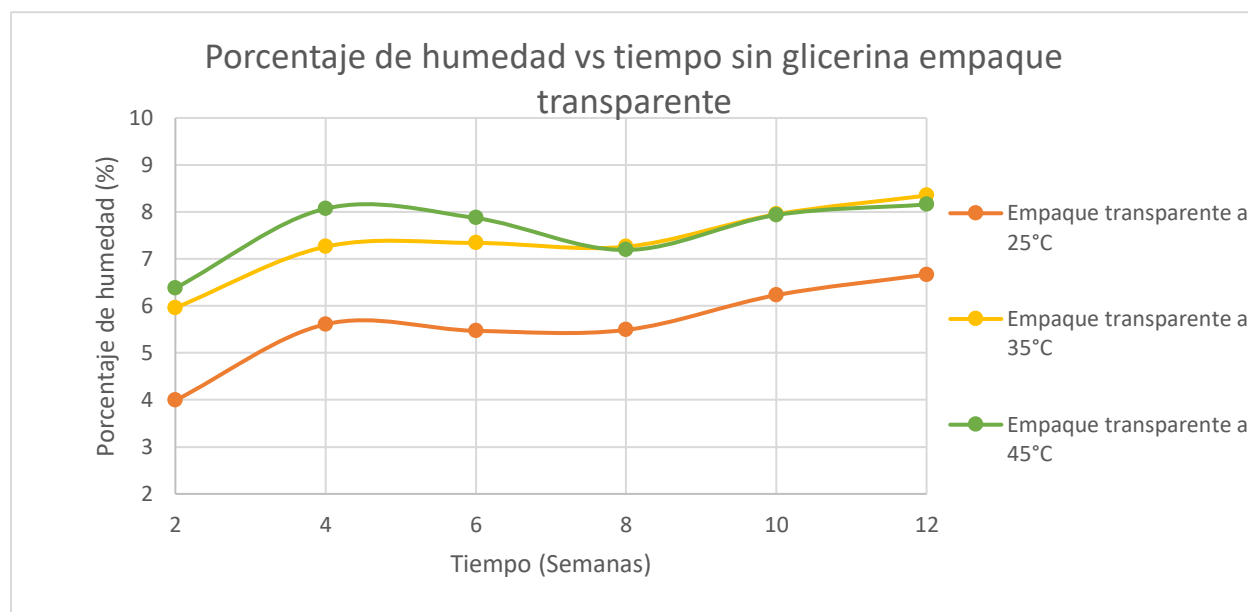
Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados permiten establecer que la temperatura de almacenamiento acelera la ganancia de Aw y humedad en todos los tratamientos. A 25°C se observó un aumento moderado de actividad de agua en todos los tratamientos y sus respectivas combinaciones. En las formulaciones sin glicerina, los valores oscilaron entre 0.490 y 0.547 con empaque metalizado y entre 0.507 y 0.560 con empaque transparente. Por otro lado, en las formulaciones con glicerina se obtuvo una variación de Aw entre 0.479 y 0.548 para el empaque metalizado y de 0.493 y 0.554 para el empaque transparente. Estos aumentos relativamente pequeños son coherentes con lo esperado en empaques cuya tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) es $\leq 0.4 \text{ g/m}^2\text{día}$ (38°C/90 %HR), como lo reportan las fichas técnicas de ambos empaques. Bajo estas condiciones de temperatura ambiente, la permeabilidad de los empaques no alcanza niveles que permitan diferenciar de manera marcada al metalizado frente al transparente (Keller & Kouzes, 2017).

A 35°C, las diferencias en los resultados según la combinación de tratamiento fue más clara. En las formulaciones sin glicerina, el empaque transparente mostró un aumento casi lineal de Aw hasta 0.72, mientras que el empaque metalizado presentó una tendencia no lineal, lo que confirma el efecto barrera del metalizado frente al paso de vapor de agua. Por el contrario, las muestras con glicerina presentaron incrementos en la Aw, tanto en empaque transparente como en el empaque metalizado.

Por su parte, a 45°C el efecto de la temperatura fue aún más marcado, pues todas las formulaciones incrementaron la A_w alcanzando valores finales entre 0.74-0.78 para los empaques transparentes y de 0.64-0.74 para los empaques metalizados. Este comportamiento concuerda con lo establecido en la literatura, la cual reporta que pequeños aumentos térmicos elevan de forma exponencial la difusividad (debido a la mayor movilidad de moléculas de agua) y, por ende, la tasa de transmisión de humedad (Kiese et al., 2021). Además, pese a que la ficha técnica indica especificaciones equivalentes de WVTR y OTR, el recubrimiento metalizado limitó mejor la ganancia de humedad. Esto podría deberse a diferencias en la integridad de los sellos, microdefectos del material o a la interacción polímero-ambiente.

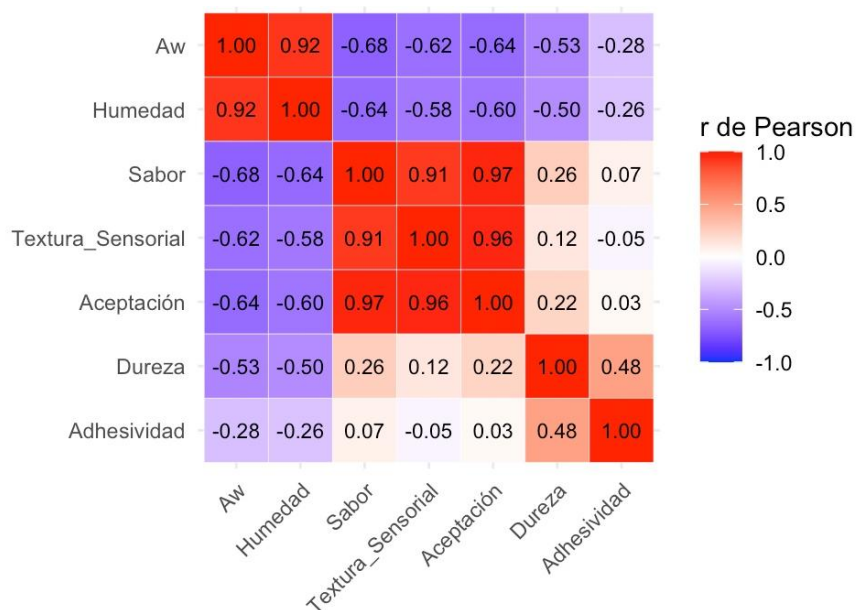
La correlación de los parámetros sensoriales con la A_w implica un riesgo de pérdida de crocancia y aumento de pegajosidad, atributos que se encuentran directamente relacionados con la disminución de aceptación. Es posible que, como la glicerina actúa como agente plastificante y modulador de la sorción, esta favorece la interacción del agua con los componentes del jarabe aglutinante. Si bien esto ayuda a mantener la suavidad y la masticabilidad, también incrementa la susceptibilidad a la captación de humedad bajo almacenamiento acelerado, lo que puede explicar la relación negativa entre A_w y atributos como textura sensorial y sabor (Zhang et al., 2020).

Por otro lado, diversos estudios respaldan que, en alimentos con matrices de baja humedad, la actividad de agua desempeña un papel modulador en las reacciones de oxidación lipídica. Cuando un producto se encuentra excesivamente seco, la actividad de agua cae a niveles muy bajos lo que puede llegar a acelerar la tasa de oxidación. Por el contrario, al incrementarse la actividad de agua dentro de un rango medio, dicha oxidación tiende a disminuir ya que se limita la movilidad del oxígeno y de los radicales libres responsables del deterioro oxidativo (Vu et al., 2020).

5. Determinación de parámetro crítico mediante matriz de correlación

El análisis de la matriz de correlación permitió integrar los resultados fisicoquímicos y sensoriales en un mismo marco de interpretación, identificando cuáles variables se relacionan de manera más estrecha con la calidad y aceptabilidad de las barritas de granola durante el almacenamiento.

Figura 24. Matriz de correlación entre variables sensoriales y fisicoquímicas



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la matriz de correlación permitió identificar que la actividad de agua y la humedad son las variables fisicoquímicas más determinantes en el deterioro de las barritas de granola. La correlación positiva de 0.92 entre ambas variables evidencia que ambos parámetros evolucionan paralelamente durante el almacenamiento, actuando como indicadores de que existe un intercambio de humedad entre el producto y el ambiente. Por otro lado, la actividad de agua y humedad mostraron correlaciones negativas con los atributos sensoriales, siendo la de sabor de -0.68 y -0.64, textura -0.62 y -0.58 y aceptación general -0.64 y -0.60, respectivamente; por lo que se evidenció que a medida que el producto gana agua, la calidad percibida se ve comprometida. Asimismo, se evidenció que tanto la dureza como la adhesividad presentaron correlaciones bajas con los parámetros sensoriales, por lo que no se pueden considerar como un factor crítico de rechazo. Estos resultados pueden ser respaldados por la literatura, puesto que un estudio realizado para *Determinar la crocancia de bananas deshidratadas a diferentes actividades de agua*, se reporta que la aceptabilidad sensorial se explica mejor por los cambios de Aw que por variaciones instrumentales de textura (de Moraes et al., 2022).

6. Determinación de tiempo de vida útil mediante ecuación de Arrhenius

Por último, se presenta la determinación del tiempo de vida útil de las barras de granola mediante la aplicación de la ecuación de Arrhenius. Este análisis permitió modelar la influencia de la temperatura sobre la velocidad de deterioro del producto, estimando la duración del producto bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

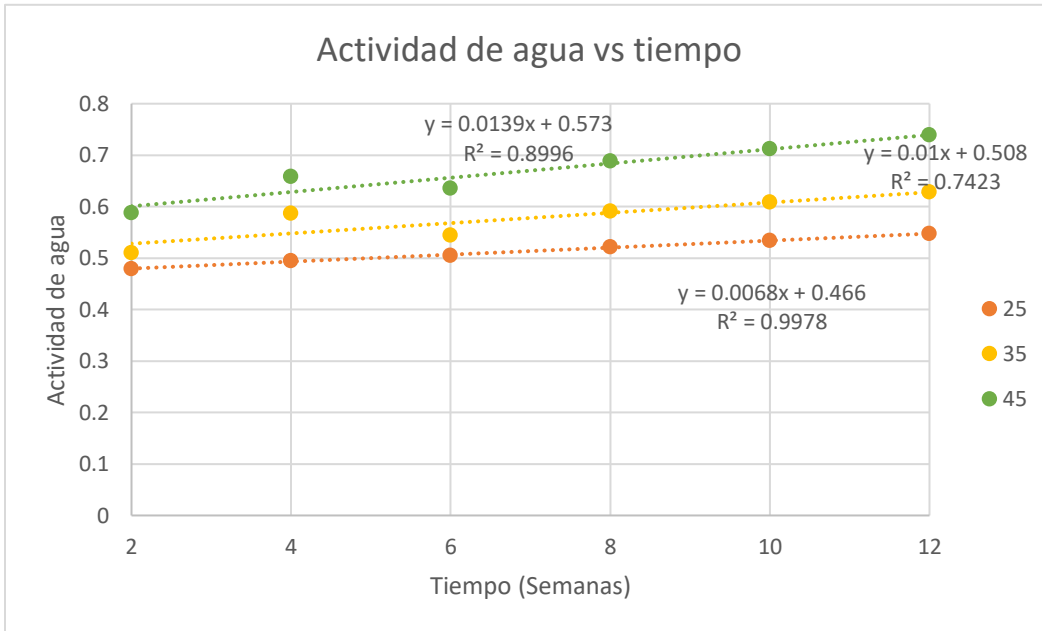
Cuadro 9. Actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a diferentes temperaturas de almacenamiento durante 12 semanas

Actividad de agua: formulación con glicerina y empaque metalizado

| <i>Tiempo (semanas)</i> | 25°C | 35°C | 45°C |
|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Aw (±0.001) | Aw (±0.001) | Aw (±0.001) |
| 2 | 0.479 | 0.510 | 0.588 |
| 4 | 0.495 | 0.587 | 0.658 |
| 6 | 0.505 | 0.544 | 0.635 |
| 8 | 0.521 | 0.591 | 0.688 |
| 10 | 0.534 | 0.608 | 0.712 |
| 12 | 0.548 | 0.628 | 0.739 |

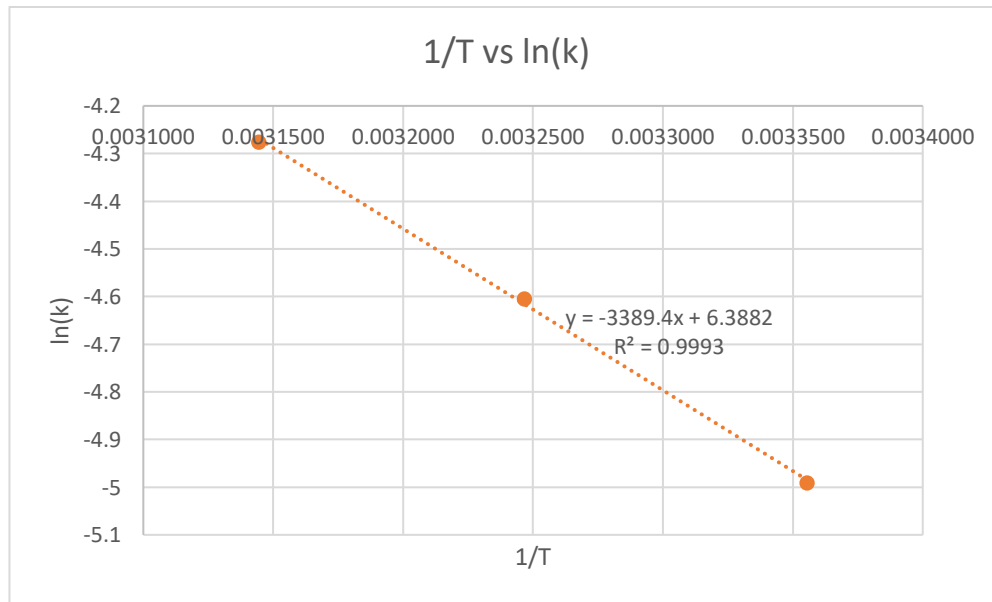
Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenadas a 25, 35 y 45°C durante 12 semanas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Linealización de Arrhenius para la evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 10. Determinación de tiempo de vida útil de barras de granola con glicerina y empaque metalizado a diferentes temperaturas de almacenamiento.

| <i>Temperatura (°C)</i> | <i>Vida útil (Semanas)</i> | <i>Vida útil (Meses)</i> |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 25 | 22.6 | 5.7 |
| 35 | 11.2 | 2.8 |
| 45 | 3.4 | 0.8 |

Fuente: Elaboración propia.

Como muestra el Cuadro 9, la actividad de agua de las barras con glicerina y empaque metalizado aumentó de forma progresiva a lo largo de las 12 semanas en todas las temperaturas. A 25°C, pasó de 0.479 a 0.548, un ascenso moderado que se mantuvo dentro del rango compatible con la crocancia de cereales y extruidos que es entre 0.50-0.60. A 35°C, la A_w se elevó de 0.510 a 0.628, por encima del intervalo en el que suelen iniciarse cambios de textura perceptibles los cuales son entre 0.55-0.65 (Vu et al., 2020). A 45°C, alcanzó 0.739 en la semana 12, superando el límite de crocancia y entrando en una zona donde la pérdida de crocancia y aparecen defectos sensoriales (de Moraes, et al., 2022). A valores superiores de 0.70 también aumenta el riesgo de pardeamiento no enzimático y de crecimiento de mohos, por lo que a 45°C resulta la condición más desfavorable. Así, aunque el empaque metalizado ofrece mejor barrera al vapor que otras alternativas, no evita la rápida ganancia de humedad inducida por la temperatura.

Como se aprecia en la Figura 25, el incremento de la A_w fue claramente dependiente de la temperatura pues a 25°C la pendiente de regresión fue 0.0068 A_w /semana, mientras que a 45°C alcanzó 0.0139 A_w /semana, lo que indica que la ganancia de humedad se duplicó bajo condiciones aceleradas. Este comportamiento se relaciona con el uso de glicerina, ya que si bien este actúa como agente plastificante y evita el endurecimiento, su higroscopicidad favorece la captación progresiva de agua durante el almacenamiento (Basiak, Lenart, & Debeaufort, 2018).

El ajuste del modelo de Arrhenius que se aprecia en la Figura 18 permitió cuantificar el efecto térmico sobre la constante de velocidad de orden cero (k) asociada al incremento de A_w . La linealización de $\ln(k)$ frente a $1/T$ mostró un excelente ajuste, siendo el R^2 de 0.9993, lo que confirma que el incremento de A_w es directamente proporcional al incremento de la temperatura.

La determinación de vida útil para la combinación de glicerina y empaque metalizado, como se muestra en el Cuadro 10, permite visualizar que el tiempo de conservación del producto disminuye conforme aumenta la temperatura, siendo de 5.7 meses a 25°C, 2.8 meses a 35°C y 0.8 meses a 45°C. Estos valores permiten determinar que aunque el empaque metalizado tiene un mejor desempeño que el transparente, no logra frenar la sorción de humedad bajo condiciones severas. En conjunto, la glicerina más la barrera metalizada resultan adecuadas para conservar una estabilidad aceptable a 25°C, pero son insuficientes por encima de 35°C donde la captación acelerada de agua compromete rápidamente la textura sensorial y la aceptación del producto.

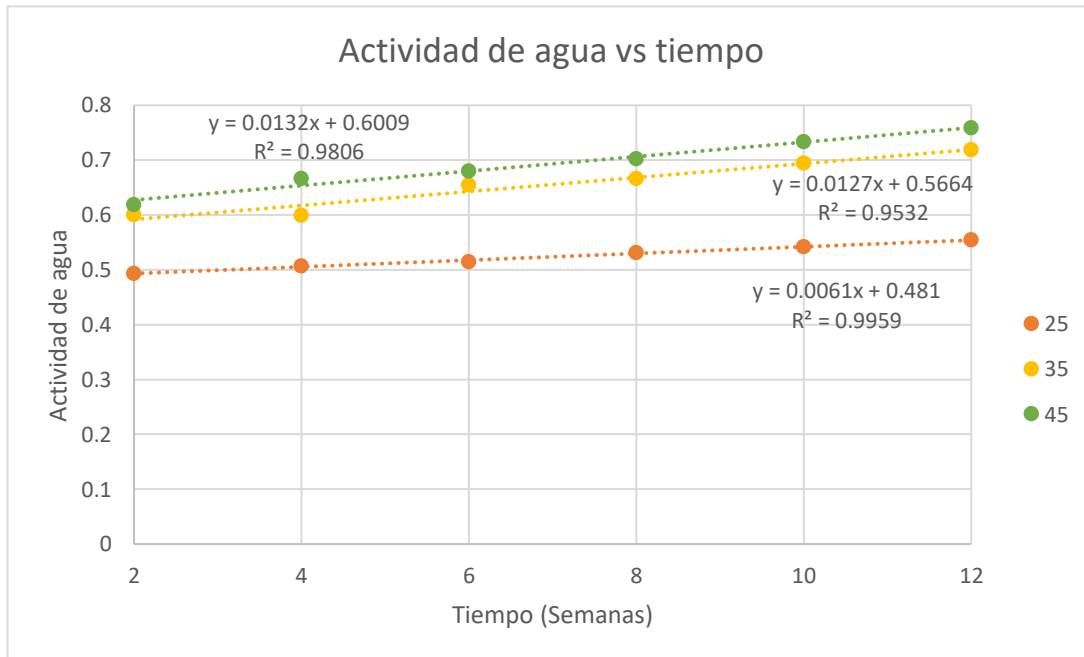
Cuadro 11. Actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente a diferentes temperaturas de almacenamiento durante 12 semanas

Actividad de agua: formulación con glicerina y empaque transparente

| Tiempo (semanas) | 25°C | 35°C | 45°C |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Aw (±0.001) | Aw (±0.001) | Aw (±0.001) |
| 2 | 0.493 | 0.600 | 0.619 |
| 4 | 0.507 | 0.599 | 0.666 |
| 6 | 0.515 | 0.655 | 0.680 |
| 8 | 0.531 | 0.666 | 0.702 |
| 10 | 0.542 | 0.694 | 0.733 |
| 12 | 0.554 | 0.719 | 0.759 |

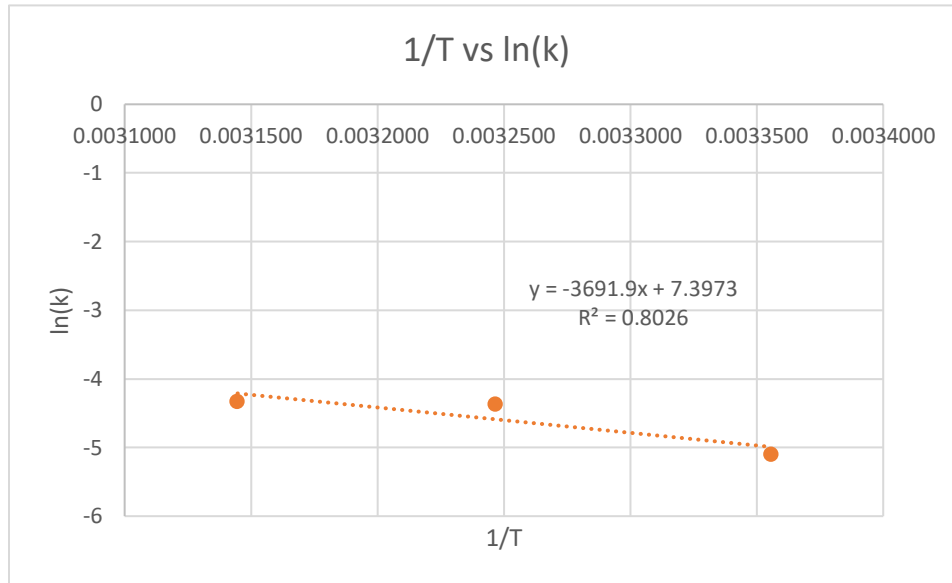
Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenadas a 25, 35 y 45°C durante 12 semanas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Linealización de Arrhenius para la evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 12. Determinación de tiempo de vida útil de barras de granola con glicerina y empaque transparente a diferentes temperaturas de almacenamiento

| <i>Temperatura (°C)</i> | <i>Vida útil (Semanas)</i> | <i>Vida útil (Meses)</i> |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 25 | 22.8 | 5.7 |
| 35 | 4.2 | 1.1 |
| 45 | 1.4 | 0.4 |

Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en el Cuadro 11, en empaque transparente la A_w aumentó de 0.493 a 0.554 a 25°C, de 0.600 a 0.719 a 35°C y de 0.619 a 0.759 a 45°C durante 12 semanas. El incremento fue más rápido a 35-45°C por la mayor difusividad de vapor y la higroscopicidad de la glicerina, que como agente plastificante favorece la captación de agua. En coherencia con la literatura, al superar valores de A_w entre 0.60-0.65, disminuye la crocancia y aparecen fenómenos de pegajosidad por transición vítrea hacia un estado gomoso (Basiak, Lenart, & Debeaufort, 2018).

En cuanto al empaque, las diferencias entre los empaques transparentes y metalizados son pequeñas a 25°C, lo que demuestra coherencia con las fichas técnicas de ambos materiales que indican WVTR bajos. No obstante, a 35-45°C el empaque transparente exhibe pendientes de valores que duplican el obtenido a 25°C y una A_w final que supera 0.70-0.75, señalando un desempeño de barrera sensiblemente menor cuando la temperatura sube.

En cuanto al empaque, a 25°C las diferencias entre el metalizado y en transparente son menores lo cual concierne con lo reportado en las fichas técnicas de ambos materiales para la tasa de transmisión de vapor de agua. Sin embargo, a 35-45°C el empaque transparente muestra pendientes que duplican las de 25°C y alcanzan valores de A_w superiores a 0.70, evidenciando un desempeño de barrera inferior al aumentar la temperatura.

Por otro lado, en la Figura 28 el ajuste de Arrhenius generó un valor de R^2 de 0.8026, inferior al obtenido para la combinación con glicerina y empaque metalizado. Este menor coeficiente de determinación sugiere que la constante k no responde a una única energía de activación en el rango de 25-45°C, lo cual es coherente con la marcada dependencia de la tasa de transmisión de vapor de agua con respecto de la temperatura y la humedad del entorno, así como la variabilidad asociada a sellos y microfugas. La literatura respalda que, en estructuras multicapa, la permeación de vapor puede no tener un comportamiento lineal ideal debido a efectos transitorios, plasticización por humedad y a que la zona de sellado es la región más susceptible a pérdidas de barrera (Ilhan et al., 2021). Aún así, se estimó una E_a de 30.7 kJ/mol, valor ligeramente mayor a la combinación de glicerina y empaque metalizado y que indica una sensibilidad térmica moderada.

Por último, como se observa en el Cuadro 12, la vida útil estimada cae de 5.7 meses a 25°C a 1.1 meses a 35°C y 0.4 meses a 45°C. La poca vida útil a las últimas dos temperaturas es consistente con los resultados que alcanzan los rangos en donde existe pérdida rápida de crocancia. Por lo que, el empaque transparente no mantiene la A_w en la ventana sensorial segura cuando la temperatura supera los 35°C, haciendo que la aceptabilidad se vea limitada por la humedad antes que por otros mecanismos de deterioro (de Moraes et al., 2022).

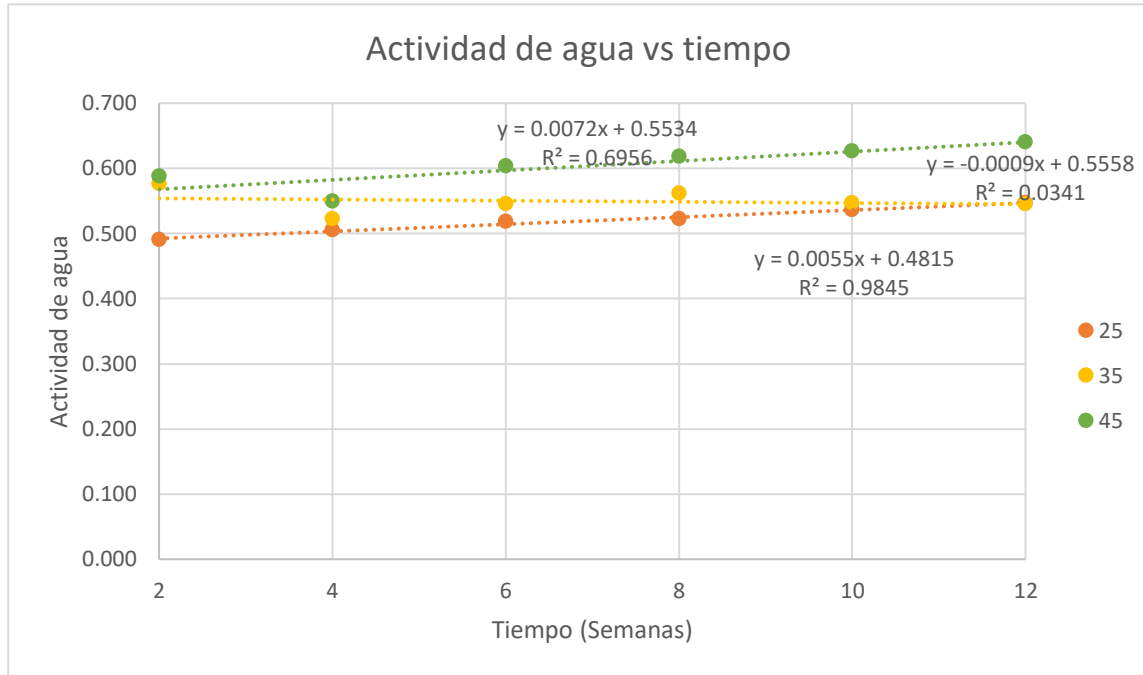
Cuadro 13. Actividad de agua en barritas de granola sin glicerina y empaque metalizado a diferentes temperaturas de almacenamiento durante 12 semanas

Actividad de agua: formulación sin glicerina y empaque metalizado

| <i>Tiempo (semanas)</i> | 25°C | 35°C | 45°C |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | $A_w (\pm 0.001)$ | $A_w (\pm 0.001)$ | $A_w (\pm 0.001)$ |
| 2 | 0.490 | 0.576 | 0.588 |
| 4 | 0.505 | 0.522 | 0.549 |
| 6 | 0.518 | 0.545 | 0.603 |
| 8 | 0.522 | 0.562 | 0.618 |
| 10 | 0.536 | 0.547 | 0.626 |
| 12 | 0.547 | 0.545 | 0.640 |

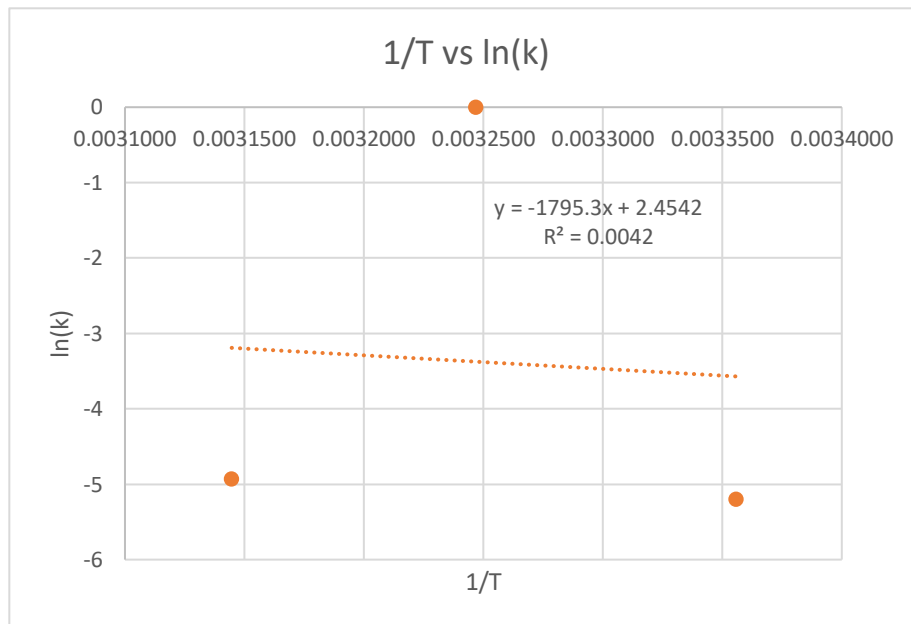
Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenadas a 25, 35 y 45°C durante 12 semanas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Linealización de Arrhenius para la evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 14. Determinación de tiempo de vida útil de barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a diferentes temperaturas de almacenamiento

| <i>Temperatura (°C)</i> | <i>Vida útil (Semanas)</i> | <i>Vida útil (Meses)</i> |
|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 25 | 25.2 | 6.3 |
| 35 | 17.2 | 4.3 |
| 45 | 9.3 | 2.3 |

Fuente: Elaboración propia.

En las barras sin glicerina con empaque metalizado, la A_w aumentó de forma moderada y consistente. De acuerdo con el Cuadro 13, a 25°C pasó de 0.490 a 0.547 en 12 semanas, un comportamiento esperado para matrices de baja humedad en condiciones controladas. A 45°C se elevó la A_w de 0.588 a 0.640, lo que evidencia una sorción más rápida a temperaturas elevadas. Esto coincide con lo previamente discutido, pues el incremento de la temperatura eleva la difusividad del vapor y acelera la captación de agua.

No obstante, a 35°C la serie no mostró una tendencia consistente pues, aunque el valor inicial fue de 0.576, los registros posteriores permanecieron prácticamente invariables. Esto contradice el comportamiento esperado de un aumento de actividad de agua con respecto al tiempo y la temperatura. En la Figura 29 se observa un valor de R^2 de 0.034, evidenciando la ausencia de un ajuste cinético válido. Este patrón sugiere errores sistemáticos en el almacenamiento, como fluctuaciones de temperatura y humedad en las cabinas o pérdidas de barrera por sellado, en línea con reportes que muestran cómo variaciones no controladas y deficiencias de sellado alteran los isoterms de sorción (Ilhan et al., 2021). Por ello, los resultados a 35°C se excluyeron del análisis cinético y de la estimación de vida útil, en donde los datos únicamente se conservaron para mostrar una coherencia gráfica. Asimismo, en la Figura 30 se muestra la linealización de Arrhenius en donde se obtuvo un R^2 de 0.0042 lo que impidió estimar una E_a confiable y confirmando que esos resultados no son representativos del comportamiento real del producto.

Finalmente, en el Cuadro 14 se determinó la vida útil estimada siendo de 6.3 meses a 25°C y 2.3 meses a 45°C, valores congruentes con la aceleración del deterioro por absorción de humedad al aumentar la temperatura. El valor calculado para 35°C de 4.3 meses debe interpretarse cuidadosamente, pues proviene de datos interpolados a partir de una serie afectada por fallas sistemáticas. La literatura recomienda descartar condiciones con evidencias de sesgos o variabilidad no controlada y ajustar el modelo solo con temperaturas que reproduzcan de forma consistente el mecanismo de deterioro (Blázquez et al., 2020). Sin embargo, dado el propósito de esta investigación, dichos datos se conservan y permiten constar su confiabilidad limitada.

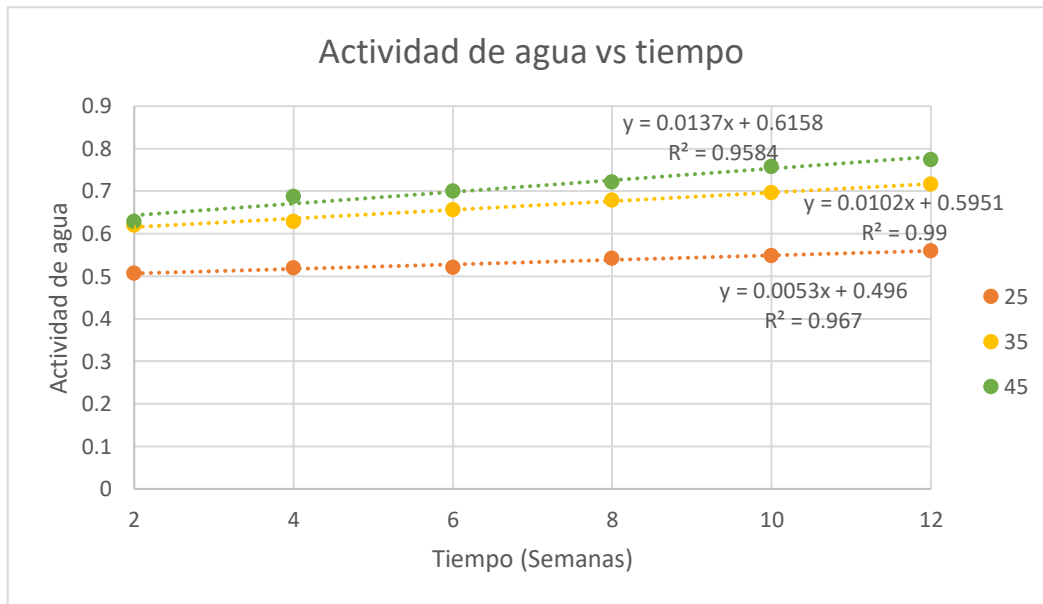
Cuadro 15. Actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a diferentes temperaturas de almacenamiento durante 12 semanas

Actividad de agua: formulación sin glicerina y empaque transparente

| Tiempo (semanas) | 25°C | 35°C | 45°C |
|------------------|-------|-------|-------|
| 2 | 0.507 | 0.620 | 0.629 |
| 4 | 0.520 | 0.629 | 0.688 |
| 6 | 0.521 | 0.656 | 0.700 |
| 8 | 0.542 | 0.679 | 0.722 |
| 10 | 0.549 | 0.697 | 0.758 |
| 12 | 0.560 | 0.717 | 0.775 |

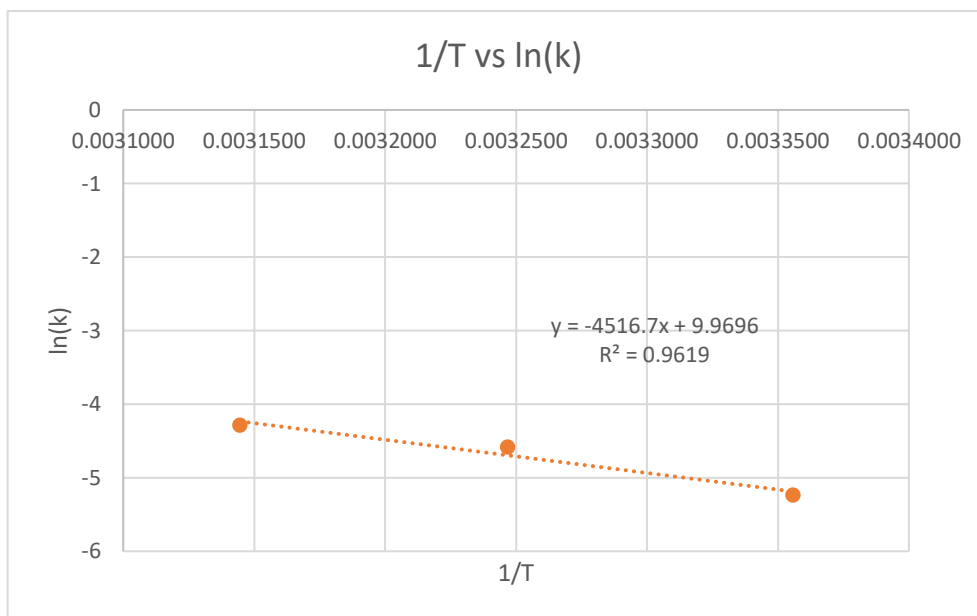
Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenadas a 25, 35 y 45°C durante 12 semanas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32. Linealización de Arrhenius para la evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 16. Determinación de tiempo de vida útil de barras de granola sin glicerina y empaque transparente a diferentes temperaturas de almacenamiento

| <i>Temperatura (°C)</i> | <i>Vida útil (Semanas)</i> | <i>Vida útil (Meses)</i> |
|-------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 25 | 23.4 | 5.8 |
| 35 | 2.4 | 0.6 |
| 45 | 0.3 | 0.08 |

Fuente: Elaboración propia.

En la formulación sin glicerina con empaque transparente, la A_w aumentó con la temperatura. A 25°C pasó de 0.507 a 0.560; a 35°C de 0.620 a 0.717; y a 45°C de 0.629 a 0.775 en 12 semanas. Las pendientes obtenidas de la Figura 23 confirman que la velocidad de ganancia de humedad casi se duplica al pasar de 25°C a 45°C. Este comportamiento es consistente con lo mencionado ya anteriormente, pues la menor barrera al vapor del empaque transparente favorece una mayor captación de agua que el empaque metalizado. Asimismo, se evidencia un ajuste satisfactorio de la linealización de Arrhenius con un R^2 de 0.962, lo que respalda la validez del modelo.

En términos sensoriales, los valores finales de A_w a 35°C y 45°C que fueron de 0.717 y 0.775, respectivamente, superaron la ventana de crocancia y explica el porqué de la pérdida de textura y aumento de pegajosidad de las muestras. Además, a esos niveles de A_w se ingresa en un rango

donde ciertos mohos podrían desarrollarse si las condiciones lo permiten, reforzando la necesidad de controlar humedad y temperatura durante el almacenamiento en anaquel (Shaw, 2025).

Por último, como muestra el Cuadro 16, la vida útil fue de 5.8 meses a 25°C, 0.6 meses a 35°C y 0.08 meses a 45°C. La caída abrupta entre 35°C y 45°C responde al aumento exponencial de la permeación del empaque transparente, al cruce de los umbrales de A_w asociados con transición vítrea y pérdida de crocancia y a la energía de activación estimada, que indica una alta sensibilidad térmica del proceso. En conjunto, los resultados confirman que sin glicerina y con empaque transparente la A_w limita la vida útil por deterioro sensorial mucho antes que otros mecanismos (de Moraes et al., 2022).

7. Determinación de la combinación óptima de formulación y empaque

Se decidió utilizar 23°C como temperatura de referencia para estimar la vida útil, por reflejar de forma realista las condiciones de los supermercados del país ya que en puntos de venta las temperaturas interiores suelen oscilar entre 20 y 25 °C. Además, este rango se emplea ampliamente como estándar en evaluaciones de vida útil de productos estables a temperatura ambiente como cereales, barras y snacks, lo que garantiza una estimación aplicable a un entorno de exhibición real (Food Industry Hub, 2025).

Cuadro 17. Determinación de tiempo de vida útil de barras de granola según su formulación y tipo de empaque almacenadas a 25°C

| <i>Combinación de tratamiento</i> | <i>Energía de activación (J/mol)</i> | <i>Vida útil (Semanas)</i> | <i>Vida útil (Meses)</i> |
|---|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| <i>Glicerina y empaque metalizado</i> | 28,179.5 | 22.6 | 5.7 |
| <i>Glicerina y empaque transparente</i> | 30,694.5 | 22.8 | 5.7 |
| <i>Sin glicerina y empaque metalizado</i> | N/A* | 25.2 | 6.3 |
| <i>Sin glicerina y empaque transparente</i> | 37,551.8 | 23.4 | 5.8 |

**En la Figura 30 se muestra la linealización de Arrhenius en donde se obtuvo un R^2 de 0.00042 lo que impidió estimar una E_a confiable y confirmando que esos resultados no son representativos del comportamiento real del producto.*

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el Cuadro 17, todas las combinaciones alcanzan vidas útiles cercanas a 6 meses. Aunque la formulación sin glicerina con empaque metalizado es la que presenta una vida útil más prolongada en términos numéricos, siendo esta de 6.3 meses, esto no necesariamente garantiza una mejor conservación de la calidad, pues la ausencia de glicerina tiende a generar texturas iniciales

demasiado duras. Además, como se mencionó anteriormente, los datos correspondientes a la temperatura de 35°C presentaron inconsistencias experimentales, lo cual comprometió la confiabilidad del ajuste cinético.

En cambio, la combinación con glicerina y empaque metalizado, cuya vida útil es de 5.7 meses, brinda un mejor equilibrio pues la textura es aceptada desde el inicio y el empaque brinda menor susceptibilidad a la captación de humedad. Por lo tanto, la decisión final debe ponderar tanto la duración estimada como la conservación de atributos sensoriales y calidad percibida, lo cual justifica la elección de la combinación de glicerina con empaque metalizado.

En cuanto a la energía de activación (E_a) estimada para los diferentes tratamientos, se observó que la combinación de glicerina con empaque metalizado presentó un valor de 28,179.5 kJ/mol, lo que indica que la captación de agua es moderadamente sensible al cambio de temperatura, al no requerir tanta energía como procesos lentos ni ser tan baja como en fenómenos casi espontáneos. En el caso de la formulación con glicerina y empaque transparente, la E_a fue ligeramente superior, de 30,694.5 kJ/mol, evidenciando una sensibilidad térmica moderada. Por su parte, la formulación sin glicerina y con empaque transparente alcanzó una E_a de 37,551.8 kJ/mol, valor característico de procesos de difusión o sorción de agua en matrices poliméricas, lo que confirma una dependencia térmica moderadamente alta de la ganancia de humedad (Choi et al., 2017).

En conjunto, los resultados obtenidos de la presente investigación reflejan la importancia de considerar de manera conjunta la formulación, el tipo de empaque y las condiciones de almacenamiento al momento de definir la vida útil de alimentos. Cada uno de estos factores influyó de manera directa en la estabilidad fisicoquímica y sensorial del producto, evidenciando que una formulación equilibrada y un material de empaque con propiedades de barrera adecuadas permiten preservar la calidad durante la vida de anaquel. Se evidenció que, luego de toda la investigación, la mejor combinación correspondió a la formulación con glicerina en empaque metalizado, al ofrecer el mejor desempeño en términos de estabilidad y aceptación sensorial.

VIII. CONCLUSIONES

1. El uso de glicerina como agente humectante y el tipo de empaque influyeron directamente en la estabilidad del producto, siendo la combinación de glicerina con empaque metalizado la que mejor conservó la calidad y prolongó la vida útil.
2. Se identificó que la actividad de agua fue el parámetro crítico de deterioro, al mostrar la mayor influencia sobre la textura, la aceptación sensorial y la estabilidad general del producto, condicionando directamente su vida útil.
3. El estudio de vida útil mostró que las barritas con glicerina alcanzaron 5.7 meses con la formulación de glicerina en ambos empaques, mientras que las formulaciones sin glicerina presentaron 6.3 meses en empaque metalizado y 5.8 meses en empaque transparente.
4. La combinación de glicerina con empaque metalizado fue la más estable, ya que ofreció una mejor barrera frente a la humedad y favoreció la conservación de la calidad fisicoquímica y sensorial del producto.

IX. RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos y la experiencia durante la ejecución del estudio, se propone a continuación una serie de recomendaciones orientadas a optimizar futuras investigaciones y mejorar la precisión en la determinación de la vida útil de productos similares. Dichas recomendaciones buscan fortalecer el diseño experimental, asegurar la validez de los resultados y garantizar condiciones adecuadas tanto para el producto como para los materiales utilizados en su evaluación.

1. Se sugiere ajustar la frecuencia de muestreo para cada una de las tres temperaturas de almacenamiento, evitando que todas las evaluaciones se realicen de manera simultánea. En específico, se recomienda evaluar las muestras almacenadas a 45°C cada 4 días, las de 35°C cada 6 días y las de 25°C cada 8 días. Este enfoque permitirá una mejor identificación del momento en que se producen las reacciones de deterioro y facilitará la determinación precisa del punto de corte sensorial y fisicoquímico del producto.
2. Se recomienda sustituir la temperatura más alta utilizada en el análisis (45°C) por una que se mantenga dentro del rango en el cual los materiales de empaque conservan sus propiedades físicas y funcionales, según lo indicado en sus certificados de calidad. Esto con el fin de evitar que condiciones térmicas excesivas alteren el comportamiento del material y afecten la validez del estudio de vida útil.
3. Se propone entrenar un panel sensorial específicamente en la evaluación del atributo de textura, con el objetivo de comparar sus resultados con los obtenidos a través del texturómetro. Esta correlación permitirá establecer un punto de corte sensorial estandarizado dentro de la empresa, que puede ser aplicado como referencia objetiva para este y otros productos de características similares.
4. Es aconsejable revisar y ajustar la formulación de la barra de granola, ya que los resultados obtenidos durante la evaluación con consumidores mostraron niveles de aceptación sensorial por debajo de lo esperado. Esta baja puntuación sugiere que utilizar dicha formulación como punto de referencia o parámetro crítico dentro del estudio no es adecuado, ya que podría comprometer la interpretación de los resultados. Una reformulación estratégica, enfocada en mejorar atributos como sabor, textura y cohesión podría incrementar la aceptabilidad del producto, permitiendo establecer estándares más representativos y útiles para futuros desarrollos dentro de la empresa.
5. Se recomienda realizar análisis de índice de peróxidos y anisidina en cada lote de materias primas grasas como el aceite vegetal, ajonjolí y macadamia antes de su incorporación para evitar cargas oxidativas iniciales que comprometan la estabilidad del producto terminado.

6. Se sugiere establecer un límite de aceptación de índice de peróxidos y anisidina basado no solo en inocuidad, sino también en la percepción sensorial, verificando si los consumidores logran detectar los cambios asociados al deterioro.

X. REFERENCIAS

- Abeyrathne, E., Nam, K., & Ahn, D. (2021). Analytical Methods for Lipid Oxidation and Antioxidant Capacity in Food Systems. *Antioxidants*.
- Aedo, Á. (2020). *Isotermas de sorción en alimentos*. Universidad del Bío-Bío.
- Ahumada, A. (2014). *Caracterización química de la semilla de ajonjolí (Sesamun Indicum L), comparación de dos métodos de extracción del aceite a través del análisis de los productos obtenidos*. Universidad del Cauca.
- Allahvaisi, S. (2012). Polypropylene in the Industry of Food Packaging. En F. Dogan, *Polypropylene*. InTech.
- Allai, F., Dar, B., Adnan, M., Ashraf, S., Hassa, M., & Pasupuleti, V. (2022). Development of Protein Rich Pregelatinized Whole Grain Cereal Bar Enriched With Nontraditional Ingredient: Nutritional, Phytochemical, Textural, and Sensory Characterization. *Frontiers in Nutrition*.
- AlMa'adeed, M., & Krupa, I. (2015). *Polyolefin Compounds and Materials - Fundamentals and Industrial Applications*. Springer.
- Badui, S. (2020). *Química de los Alimentos*. Pearson.
- Basiak, E., Lenart, A., & Debeaufort, F. (2018). How Glycerol and Water Contents Affect the Structural and Functional Properties of Starch-Based Edible Films. *Polymers*.
- Bauer, A., Leppik, K., Galic, K., Anestopoulos, I., Panayiotidis, M., Agriopoulou, S., . . . Varzakas, T. (2022). Cereal and Confectionary Packaging: Background, Application and Shelf-Life Extension. *Foods*.
- Bhakha, T., Ramasawmy, B., Toorabally, Z., & Neetoo, H. (2019). Development, characterization and shelf-life testing of a novel pulse-based snack bar. *Agriculture and Food*, 756-777.
- Blázquez, A., Conde, A., Mori, U., & Lozano, J. (2020). *Areview on outlier/anomaly detection in time series data*. Obtenido de Cornell Univeristy: <https://arxiv.org/abs/2002.04236>
- Borjas, G. (2012). *Desarrollo de una barra de cereal con miel y polen destinada para el mercado infantil*. Universidad Zamorano.
- Burgos, M. (2020). *Revisión de aditivos en los productos y subproductos de la industria láctea*. Universidad Austral de Chile.
- Calderón, S., Cubero, E., Pineda, M., & Morales, I. (2005). *Vida útil de Alimentos*. Universidad de Costa Rica.

- Camlibel, N. (2017). Introductory Chapter: Introduction to “Polyester – Production, Characterization and Innovative Applications”. En N. Camlibel, *Polyester - Production, Characterization and Innovative Applications*. IntechOpen.
- Cardona, F. (2019). *Actividad del agua en alimentos: concepto, medida y aplicaciones*. Universitat Politècnica de Valencia.
- Carvajal, S. (2019). Efecto de los parámetros de extrusión sobre la composición nutricional de un snack a base de maíz, fréjol y camote. *Universidad Técnica del Norte*.
- CDR FoodLab. (2025). *Análisis del Índice de Peróxidos en aceites y grasas*. Obtenido de CDR FoodLab: <https://www.cdrfoodlab.es/cdrfoodlab/analisis/peroxidos-aceite-grasas>
- Choi, J.-Y., Lee, H., Cho, J., Lee, Y., Woo, J., & Moon, K. (2017). Prediction of shelf-life and changes in the quality characteristics of semidried persimmons stored at different temperatures. *Food Science and Biotechnology*.
- Claight Corporation. (s.f.). *Mercado Global de Barras de Cereales – Por Producto (Barritas de Granola/Muesli, Otros); Por Canal de Distribución (Tiendas de Conveniencia, Supermercados e Hipermercados, Tiendas Especializadas, Tiendas en Línea, Otros); Por Región (América del Norte, Eu)*. Obtenido de Claight Corporation | Expert Market Research: <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-barras-de-cereales>
- Colomo, D. (2015). *Implementación de un método de manejo de la pudrición gris de la flor (Botrytis cinerea) en macadamia; Finca Patzulín, El Palmar, Quetzaltenango*. Universidad Rafael Landívar.
- Constantin, O., & Istrati, D. (2018). Functional Properties of Snack Bars. En V. Lagouri, *Functional Foods*. Intechopen.
- CXS 192-1995. (2024). *Norma general para los aditivos alimentarios*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- de Moraes, J., Andreani, P., Murta, B., Link, J., Tribuzi, G., Laurindo, J., & Carciofi, B. (2022). Mechanical-acoustical measurements to assess the crispness of dehydrated bananas at different water activities. *LWT*.
- Díaz, D. (2022). *Análisis de las metodologías más utilizadas para la determinación de la vida útil de alimentos*. Universidad Técnica de Ambato.
- Eke-Ejiofor, J., Beleya, E., & Gbarasogo, N. (2016). Preparation and Evaluation of Granola – a Breakfast Cereal, Sustituted with Maize (Zea May) and Coconut (Cocos Nucifera) Blend. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 47-52.
- FasterCapital. (15 de junio de 2024). *Shelf Life: Understanding Shelf Life: A Key Factor in Inventory Aging Management*. Obtenido de FasterCapital: <https://fastercapital.com/content/Shelf-Life--Understanding-Shelf-Life--A-Key-Factor-in-Inventory-Aging-Management.html>

- FDA. (2025). *Code of Federal Regulations*. Obtenido de Title 21, Chapter I, Subchapter B, Part 182, Subpart D, Section 182.3173: <https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-182/subpart-D/section-182.3173>
- Food Industry Hub. (2025). *Know: Ambient Storage*. Obtenido de Food Industry Hub: <https://foodindustryhub.com/food-industry-knowledge-centre/know-ambient-storage>
- Fu, B., & Labuza, T. (1993). Shelf life prediction: Theory and application. *Food Control*, 125–133.
- Gill, A., Sahay, G., & Kumar, A. (2022). Snack bars as functional foods: A review. *The Pharma Innovation Journal*, 1324-1331.
- Gómez, A., Ceballos, I., Ruiz, E., Rodríguez, P., Valero, T., Ávila, J., & Varela, G. (2017). *Datos actuales sobre las propiedades nutricionales de la avena*. Fundación Española de la Nutrición.
- Grijalba, D. (2019). *Extensión de vida de anaquel utilizando ácido sórbico y empaques de polipropileno y polipropileno metalizado en galletas con sabor a mantequilla*. Universidad del Valle de Guatemala.
- Gupta, R., & Dudeja, P. (2017). Food packaging. En R. Gupta, P. Dudeja, & S. Minhas, *Food Supply Safety in India*. Academic Press.
- Harris, M., & Peleg, M. (1996). Patterns of Textural Changes in Brittle Cellular Cereal Foods Caused by Moisture Sorption. *Cereal Chem*, 225-231.
- Hernández, E. (2005). *La Evaluación Sensorial*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Herrera, J. (2017). *Optimización de resinas de polietileno y estandarización del proceso de coextrusión en una línea de producción de empaques*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Hossain, T., Shahid, A., Mahmud, N., Habib, A., Rana, M., Khan, S., & Hossain, D. (2024). Research and application of polypropylene: a review. *Discover Nano*.
- Hough, G. (2010). *Sensory Shelf Life Estimation of Food Products*. CRC Press.
- Huang, K. (2024). The development of sensory analysis techniques in the food industry and the research progress. *Theoretical and Natural Science*, 164-169.
- IFT. (1981). Sensory Evaluations Guide for Testing Food and Beverage Products. *Food Technology*, 50-58.
- Ilhan, I., Turan, D., Gibson, I., & ten Klooster, R. (2021). Understanding the factors affecting the seal integrity in heat sealed flexible food packages: A review. *Packaging Technology and Science*, 321-337.
- Iniesta, A. (2020). *El aceite de palma: problemática social, medioambiental y nutricional*. Universidad de Murcia.

- Institute of Food Science and Technology | IFST. (1993). *Shelf Life of Foods. Guidelines for its Determination and Prediction*. Londres: Institute of Food Science and Technology.
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. (2012). *Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica*. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.
- Katz, E., & Labuza, T. (1981). Effect of Water Activity on the Sensory Crispness and Mechanical Deformation of Snack Food Products. *Journal of Food Science*, 403-409.
- Keller, P., & Kouzes, R. (2017). *Water Vapor Permeation in Plastics*. Pacific Northwest National Laboratory.
- Khizar, M., Ishtiaque, S., Hashmi, M., & Khan, M. (2023). Enhancing Film Quality and Uniformity in Pearlescent Bi-axially Oriented Polypropylene Films: A Study of Manufacturing Process. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 183-189.
- Kiese, S., Kücükpinar, E., Miesbauer, O., & Langowski, H.-C. (2021). The influence of temperature on the intrinsic transport properties of water in inorganic and polymeric coatings. *Thin Solid Films*.
- Kumari, A., Alekhya, P., Singh, S., Chinmai, J., & Neethu, N. (2017). *Polyesters - A Review*. Indian Institute of Space Science and Technology.
- Labuza, T. (1984). Application of Chemical Kinetics to Deterioration of Food. *Journal of Chemical Education*.
- Labuza, T. (1999). Determination of the Shelf Life of Foods. *Department of Food Science and Nutrition*, University of Minnesota.
- Man, D. (2004). *Caducidad de los alimentos*. Acribia.
- Martínez, M., Rondón, A., & Pérez, A. (2020). Características y propiedades antimicrobianas de miel de abejas (*Melipona beecheii*). *Universidad de Matanzas*.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (11 de enero de 2000). Acuerdo Gubernativo Número 021-2000 Reglamento para la Fortificación del azúcar con Vitamina A. *Diario de Centroamérica*.
- Mora, R., Vanare, S., & Pegg, R. (2025). Mechanisms, Causes, and Solutions: A Comprehensive Review of Lipid Oxidation in Low-Moisture Packaged Snacks. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 1-15.
- Nieto, E., Ontiveros, I., Rodríguez, T., & Rodríguez, C. (2016). *Investigación de los materiales y tipos de empaques utilizados en la manufactura de alimentos*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Núñez, M., Hernández, R., Rodríguez, I., Rodríguez, J., & Torres, Y. (2017). Metodología para la estimación de la vida útil de los alimentos. I. Procedimiento general. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 58-64.

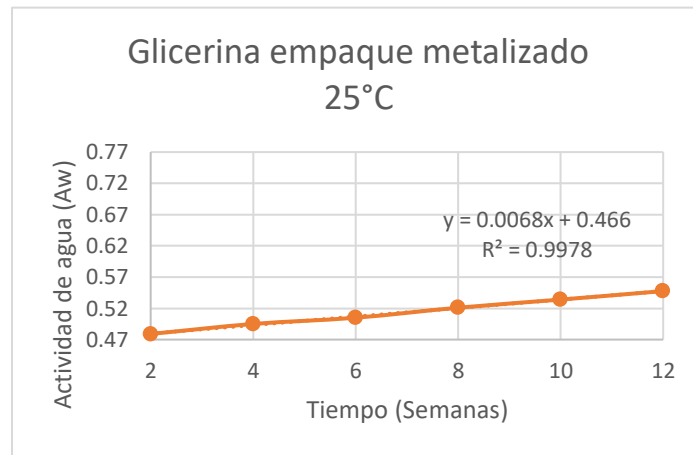
- Osorio, M. A. (2018). *Técnicas modernas en el análisis sensorial de los alimentos*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Pino, J. (2020). Lecitina: Química, bioquímica y uso en la industria alimentaria. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 68-77.
- Polmear, I., StJohn, D., Nie, J.-F., & Qian, M. (2017). 4 - Wrought Aluminium Alloys. En I. Polmear, D. StJohn, J.-F. Nie, & M. Qian, *Light Alloys - Metallurgy of the Light Metals* (págs. 157-263). Elsevier Ltd.
- Pratiwi, I., Kensawas, V., & Winuprasith, T. (2019). Storage Stability of High Fiber Snack Bar. *GHMJ (Global Health Management Journal)* , 124-137.
- Puma, G., Liñan, J., Coavoy, I., Coronado, J., Salas, W., & Vargas, L. (2018). Vida en anaquel de galletas saladas utilizando pruebas aceleradas. *Anales Científicos*, 218-255.
- Robertson, G. (1993). *Food Packaging. Principles and Practice*. Marcel Decker New York.
- RTCA 67.01.07:10. (2010). *Etiquetado general de los alimentos previamente envasados (preenvasados)*. Ministerio de Economía.
- Salazar, D., Acurio, L., Pérez, L., Valencia, A., & Peñafiel, J. (2015). Efecto de la utilización de emulsificantes en la textura de barras energéticas de amaranto. *Alimentos Hoy - Revista de la Asociación Colombiana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 97-111.
- Samakradhamrongthai, R., Jannu, T., & Renaldi, G. (2021). Physicochemical properties and sensory evaluation of high energy cereal bar and its consumer acceptability. *Heliyon*.
- Sarkar, S., & Kuna, A. (2020). Food Packaging and Storage. En P. Singh, *Research Trends in Home Science and Extension (Volume-3)*. AkiNik Publications.
- Shaw, H. (2025). *Water Activity and its Role in Food Preservation*. Obtenido de University of California : <https://ucanr.edu/program/uc-master-food-preserved-program/article/water-activity-and-its-role-food-preservation>
- Singh-Ackbarali, D., & Maharaj, R. (2014). Sensory Evaluation as a Tool in Determining Acceptability of Innovative Products Developed by Undergraduate Students in Food Science and Technology at The University of Trinidad and Tobago . *Journal of Curriculum and Teaching*, 10-27.
- Spackman, T. (2023). *Use of Microcalorimetry to Evaluate Hardening Reactions in Protein Bars During Accelerated Storage* . BYU ScholarsArchive.
- Steele, R. (2004). *Understanding and Measuring the Shelf-Life of Food*. Woodhead Publishing Limited.
- Tafese, M. (2022). Understanding to the shelf life and product stability of foods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 1-5.

- Tanaka, R., Nakazawa, N., Maeda, T., Fukushima, H., Wada, R., Sugiura, Y., . . . Fukuda, Y. (2016). Effects of Chilled Storage, Freezing Rates, and Frozen Storage Temperature on Lipid Oxidation in Meat Blocks from Cultured Bluefin Tuna *Thunnus thynnus*. *Journal of Aquatic Food Product Technology*.
- Toscano, L., García, G., Gómez, F., Beltrán, G., Valenzuela, I., & Armenta, J. (2020). Análisis de las propiedades físico-químicas y sensoriales de barra alimenticia a base de semillas y nueces sin componentes de origen animal. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*.
- Tuteja, J., Vyas, A., & Sand, A. (2024). Introductory Chapter: Polyethylene – Its Properties and Application in Industry and in Households. En S. Arpit, & J. Tuteja, *Polyethylene - New Developments and Applications*. IntechOpen.
- Vásquez, L. (2019). *Determinación de la vida útil sensorial de galletas tipo soda y oblea rellena, por medio de condiciones aceleradas*. Universidad del Valle de Guatemala.
- Vergara, C., & Farías, M. J. (2024). *Deshidratación de hortalizas: una herramienta para agregación de valor a nuevos alimentos*. Ministerio de Agricultura Gobierno de Chile.
- Vito, J. (2019). *Determinación de la vida útil mediante pruebas aceleradas (ASLT) de un producto extruido enriquecido con concentrado proteico de pota (Dosidicus Gigas)*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vu, T., He, L., McClements, D., & Decker, E. (2020). Effects of water activity, sugars, and proteins on lipid oxidative stability of low moisture model crackers. *Food Research International*.
- Wan, N., Mazila, A., Abdul, N., Salamun, N., Man, R., & Enshasy, H. (2019). Glycerol In Food, Cosmetics And Pharmaceutical Industries: Basics And New Applications . *International Journal of Scientific & Technology Research*, 553-558.
- Yadav, L., & Bhatnagar, V. (2015). Optimization of ingredients in cereal bar. *Food Science Research Journal*, 273-278.
- Yaris, A., & Sezgin, A. (2017). Food Packaging: Glass and Plastic. En H. Arapgirlioglu, A. Atik, R. Elliott, & E. Turgeon, *RESEARCHES ON SCIENCE AND ART IN 21st CENTURY TURKEY*. Gece Publishing.
- Zainol, M., Abd-Hamid, A., Yusof, S., & Muse, R. (2003). Antioxidative activity and total phenolic compounds of leaf, root and petiole of four accessions of *Centella asiatica* (L.) Urban. *Food Chemistry*, 575-581.
- Zhang, J., Liu, D., Liu, Y., Yu, Y., Hemar, Y., Regenstein, J., & Zhou, P. (2020). Effects of particle size and aging of milk protein concentrate on the biophysical properties of an intermediate-moisture model food system. *Food Bioscience*.

XI. ANEXOS

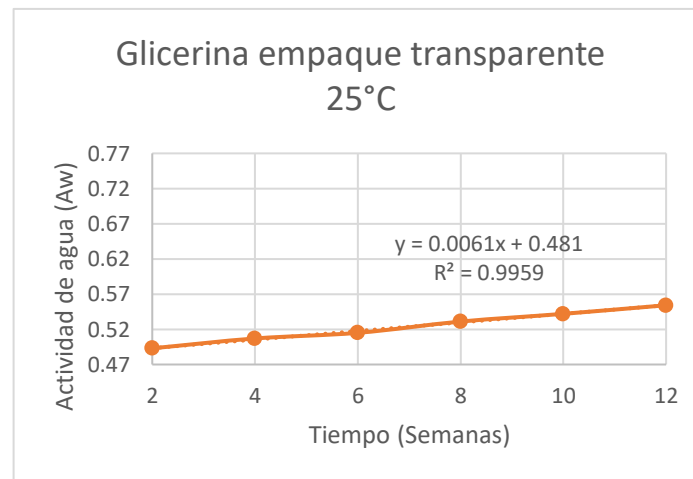
Anexo 1. Datos crudos

Figura 33. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas



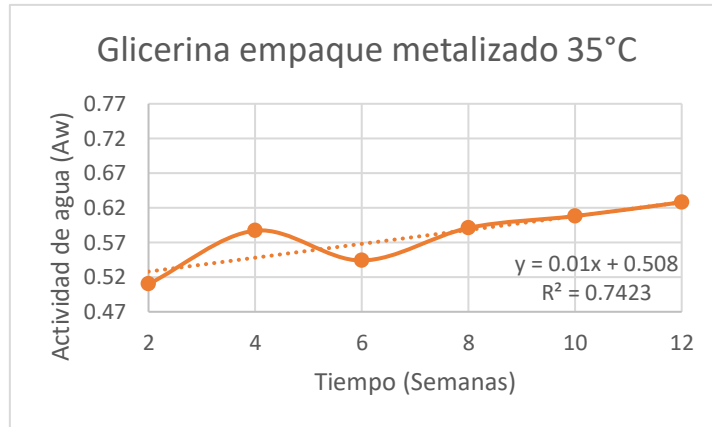
Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 25°C durante 12 semanas



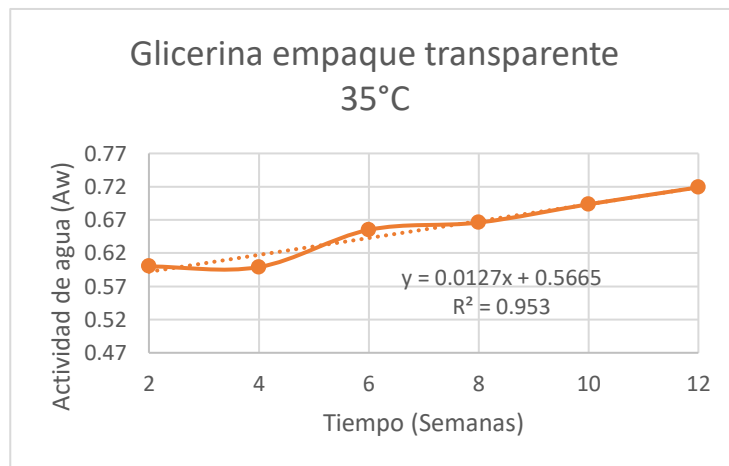
Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas



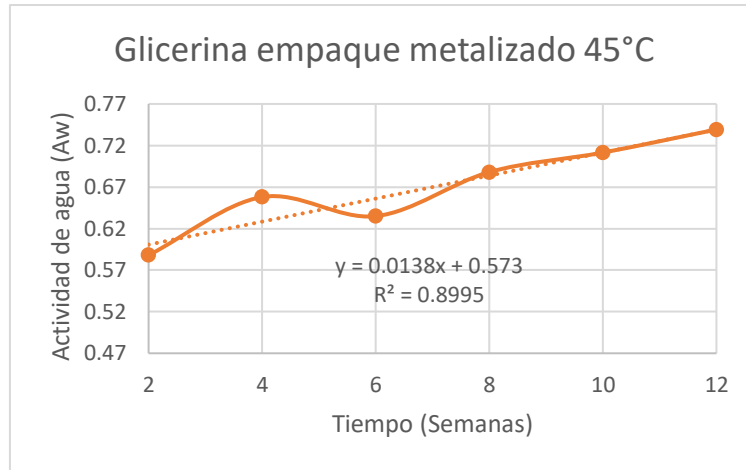
Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 35°C durante 12 semanas



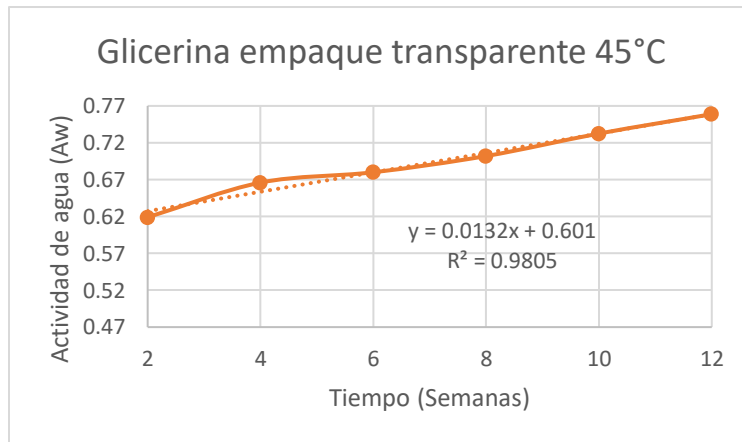
Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas



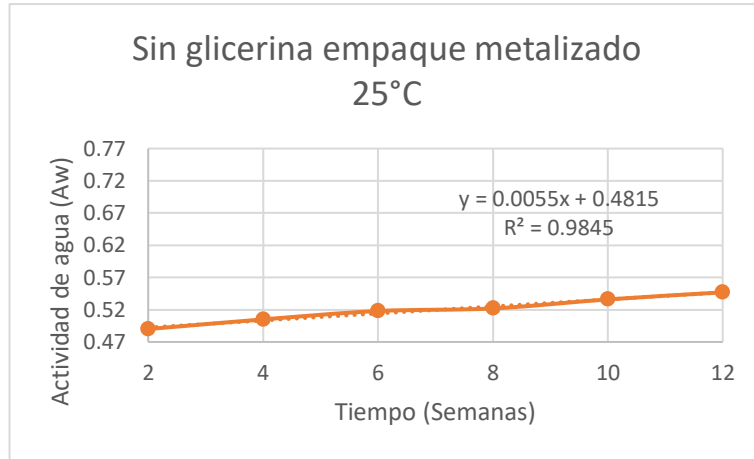
Fuente: Elaboración propia.

Figura 38. Evolución de la actividad de agua en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 45°C durante 12 semanas



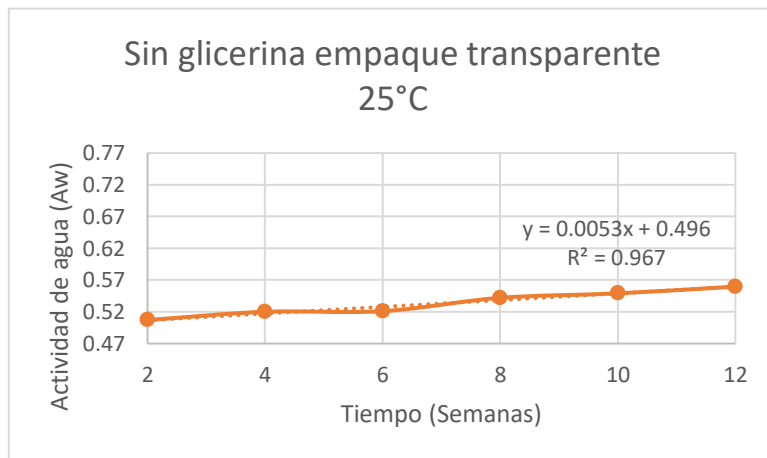
Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas



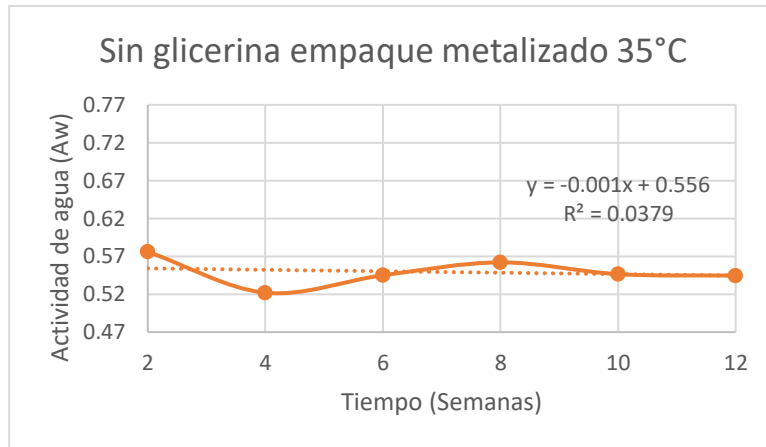
Fuente: Elaboración propia.

Figura 40. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 25°C durante 12 semanas



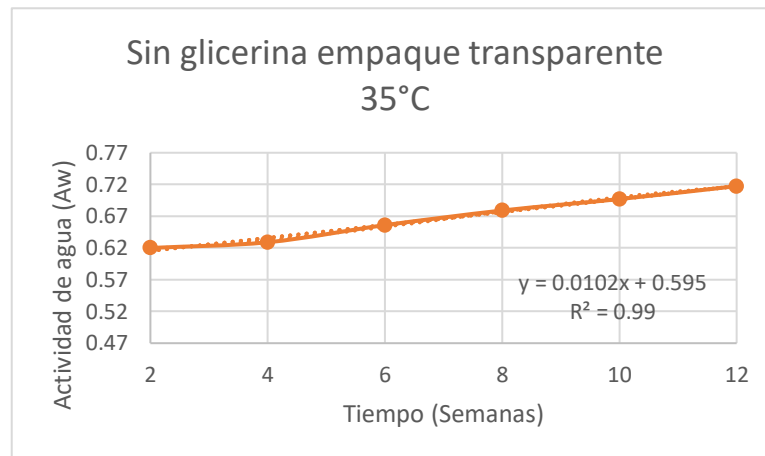
Fuente: Elaboración propia.

Figura 41. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas



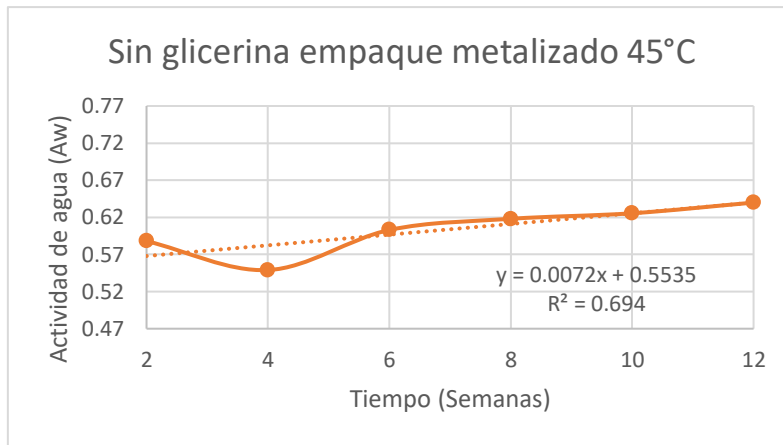
Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 35°C durante 12 semanas



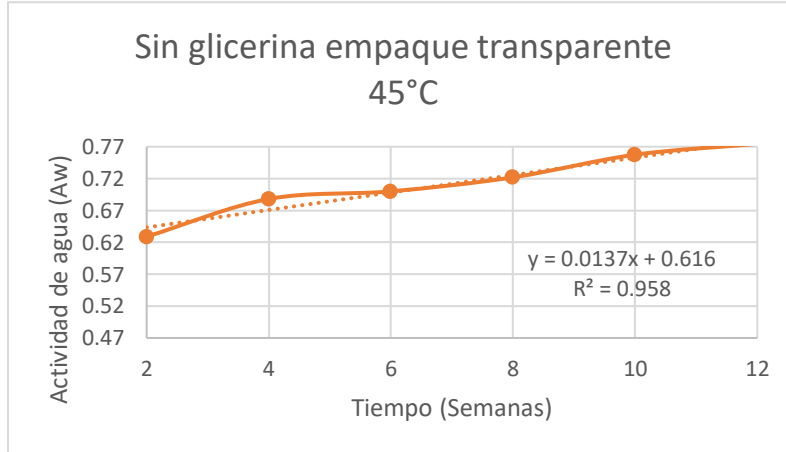
Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas



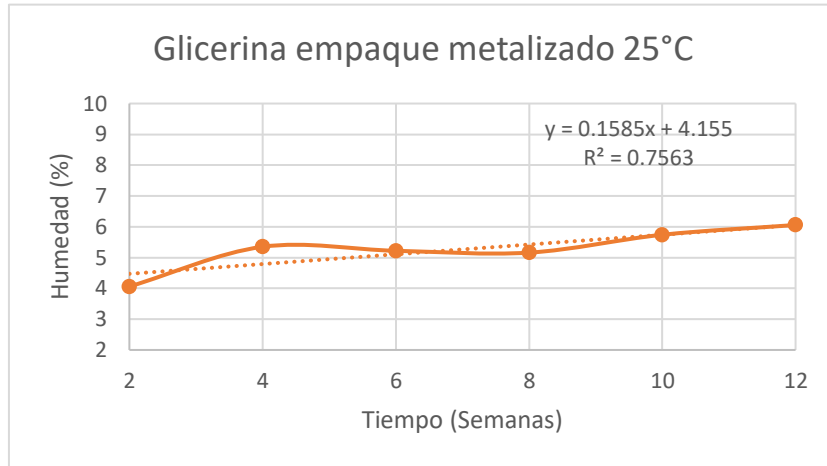
Fuente: Elaboración propia.

Figura 44. Evolución de la actividad de agua en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 45°C durante 12 semanas



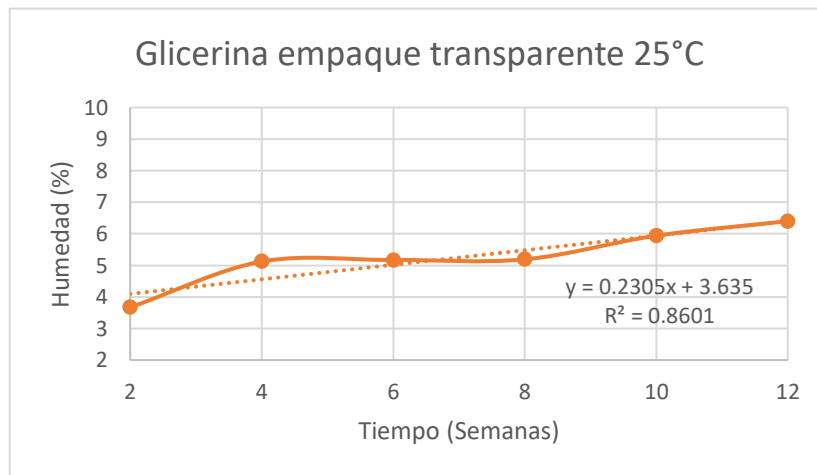
Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas



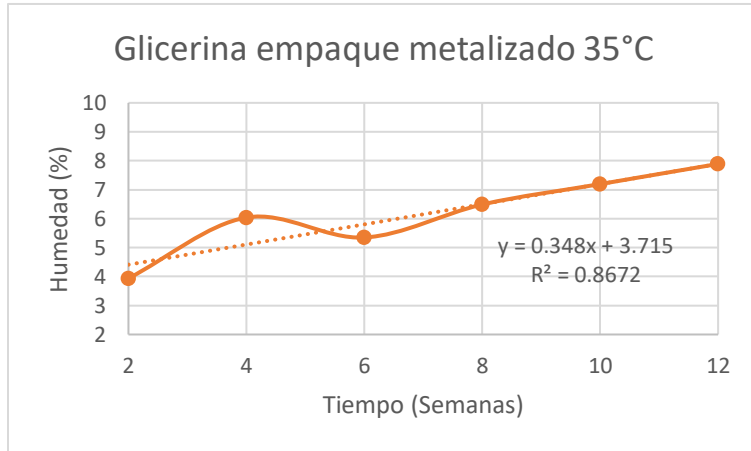
Fuente: Elaboración propia.

Figura 46. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 25°C durante 12 semanas



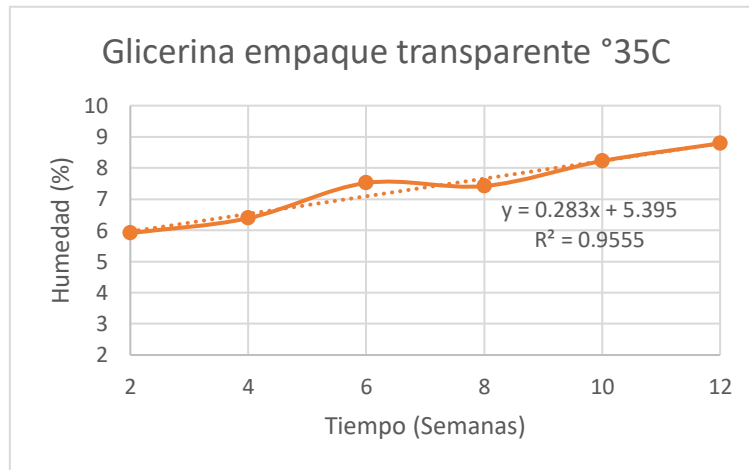
Fuente: Elaboración propia.

Figura 47. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas



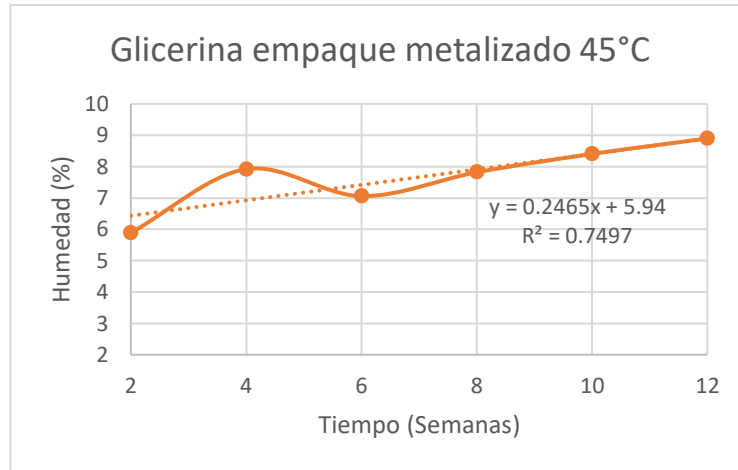
Fuente: Elaboración propia.

Figura 48. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 35°C durante 12 semanas



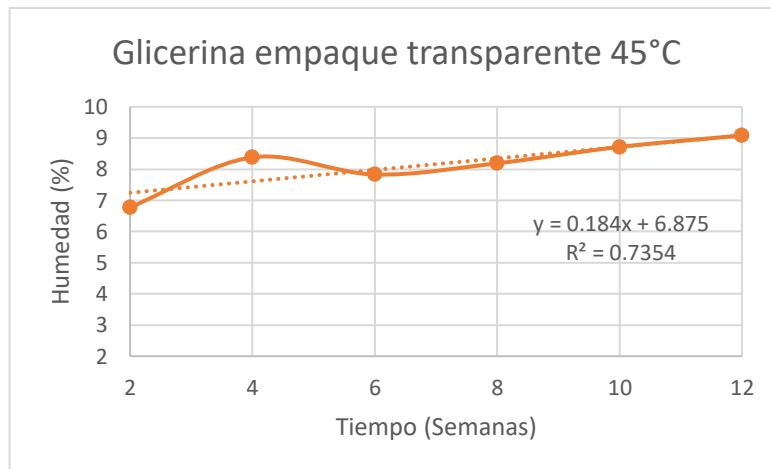
Fuente: Elaboración propia.

Figura 49. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas



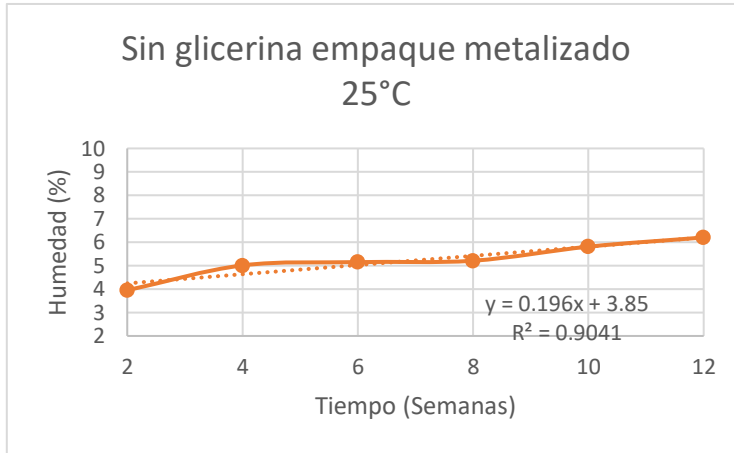
Fuente: Elaboración propia.

Figura 50. Evolución de la humedad en barras de granola con glicerina y empaque transparente a 45°C durante 12 semanas



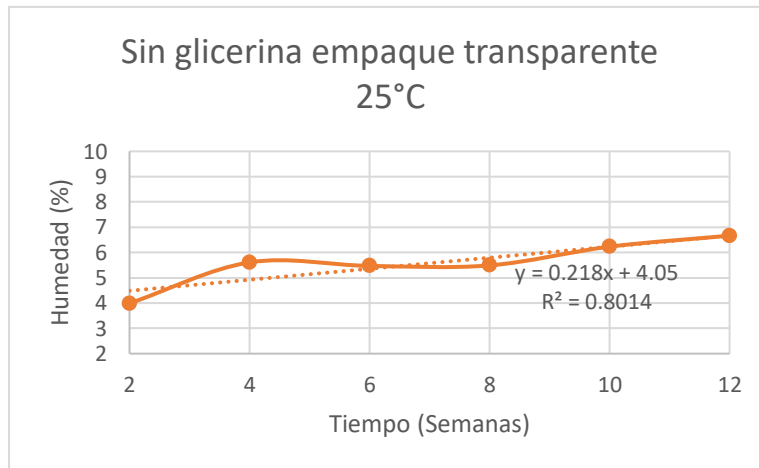
Fuente: Elaboración propia.

Figura 51. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas



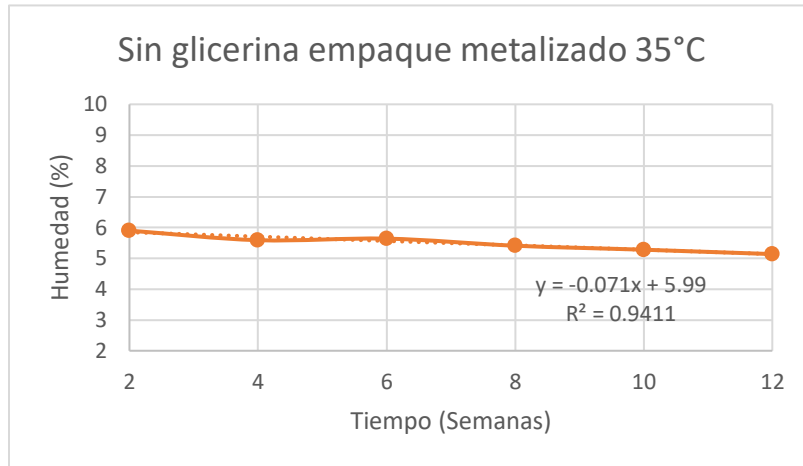
Fuente: Elaboración propia.

Figura 52. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 25°C durante 12 semanas



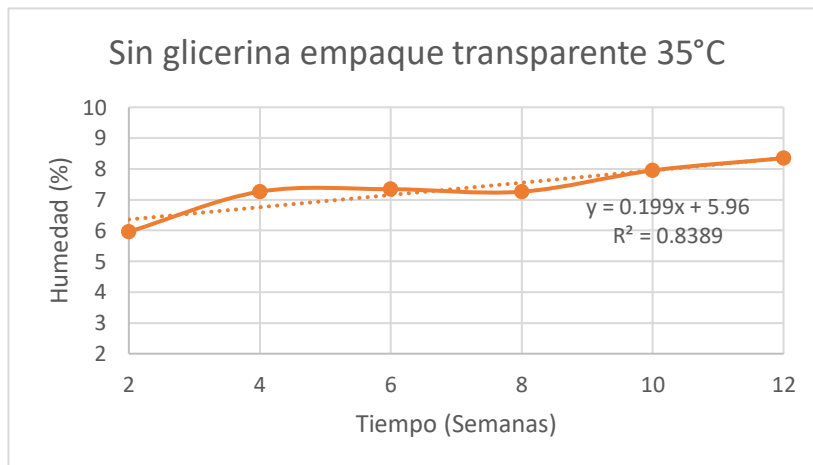
Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas



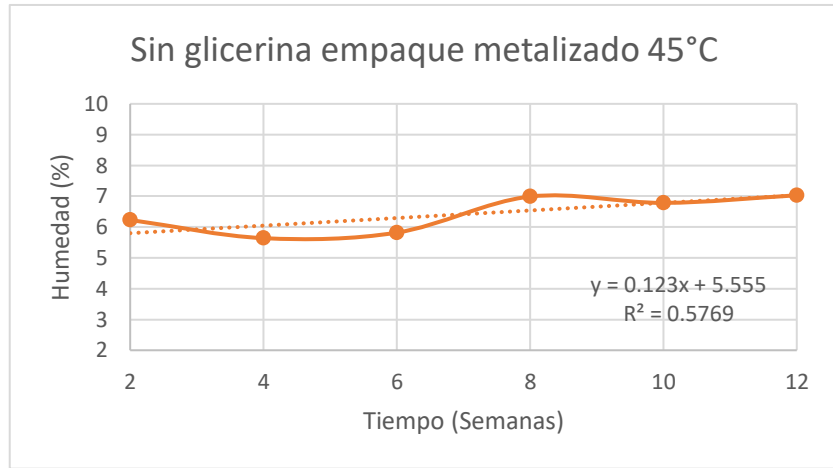
Fuente: Elaboración propia.

Figura 54. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 35°C durante 12 semanas



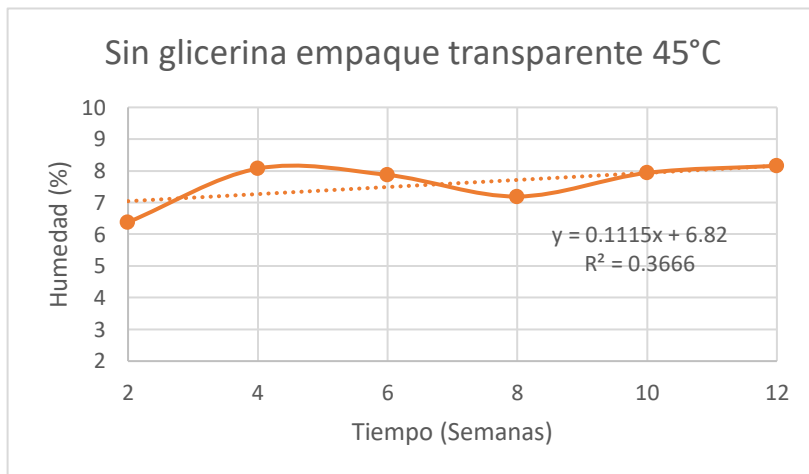
Fuente: Elaboración propia.

Figura 55. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas



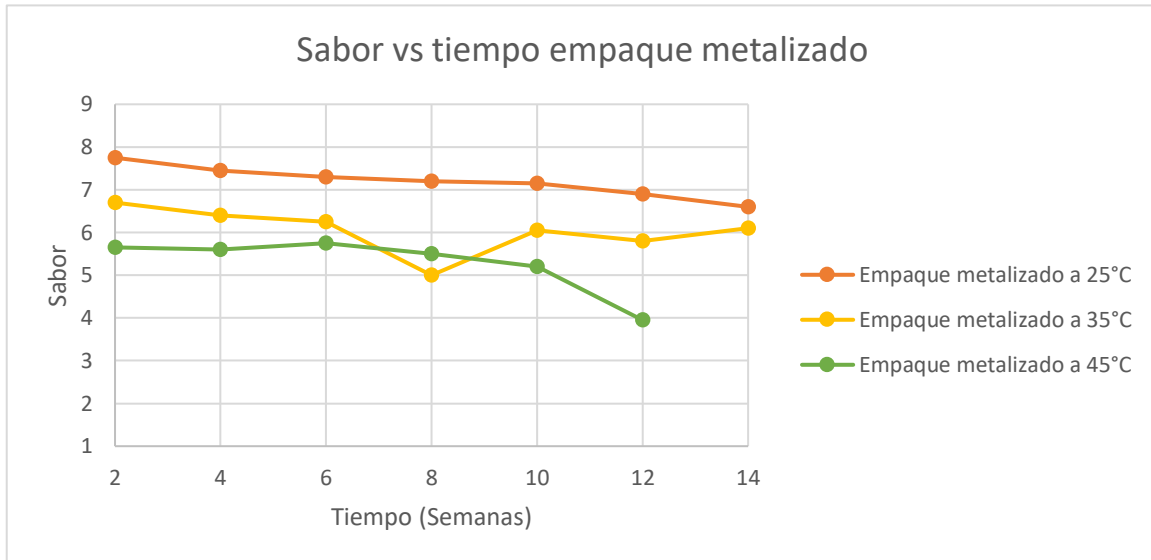
Fuente: Elaboración propia.

Figura 56. Evolución de la humedad en barras de granola sin glicerina y empaque transparente a 45°C durante 12 semanas



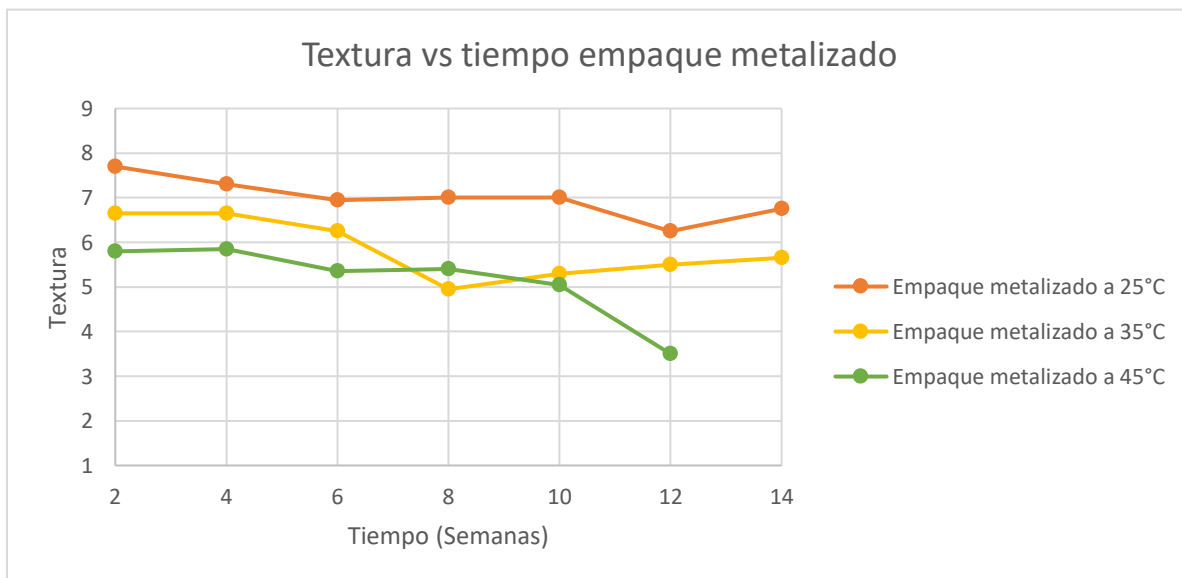
Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Evolución del sabor en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



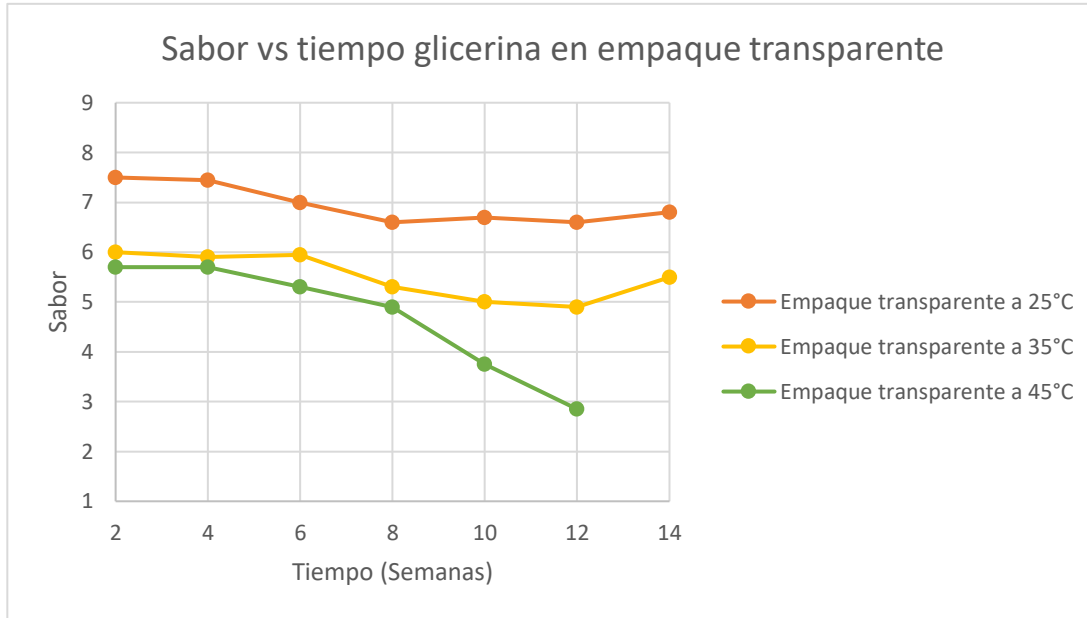
Fuente: Elaboración propia.

Figura 58. Evolución de la textura en barras de granola con glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



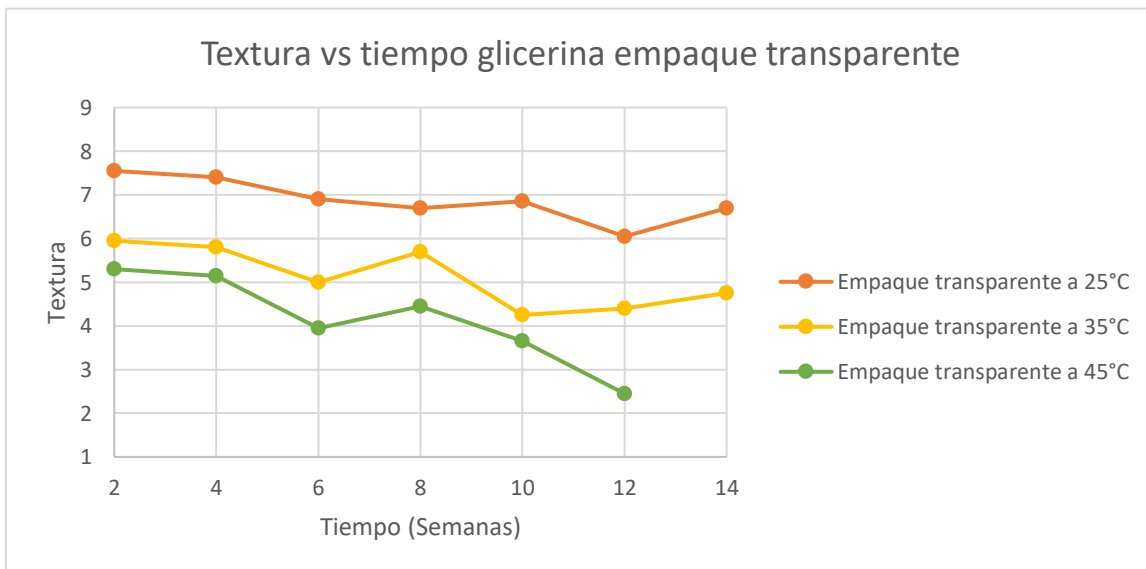
Fuente: Elaboración propia.

Figura 59. Evolución del sabor en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



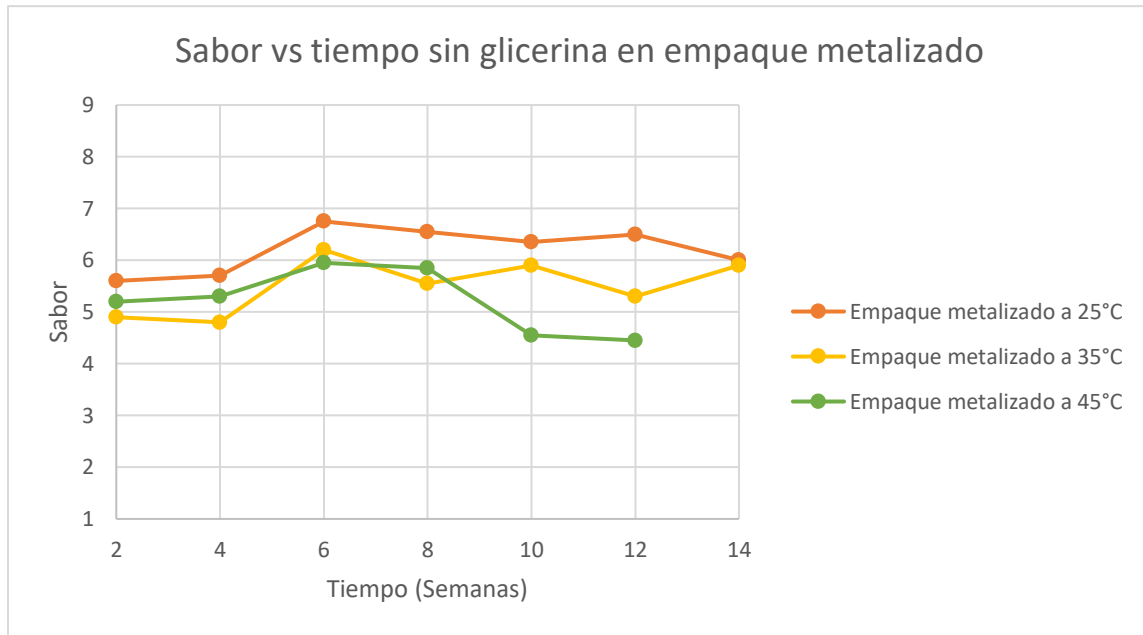
Fuente: Elaboración propia.

Figura 60. Evolución de la textura en barras de granola con glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



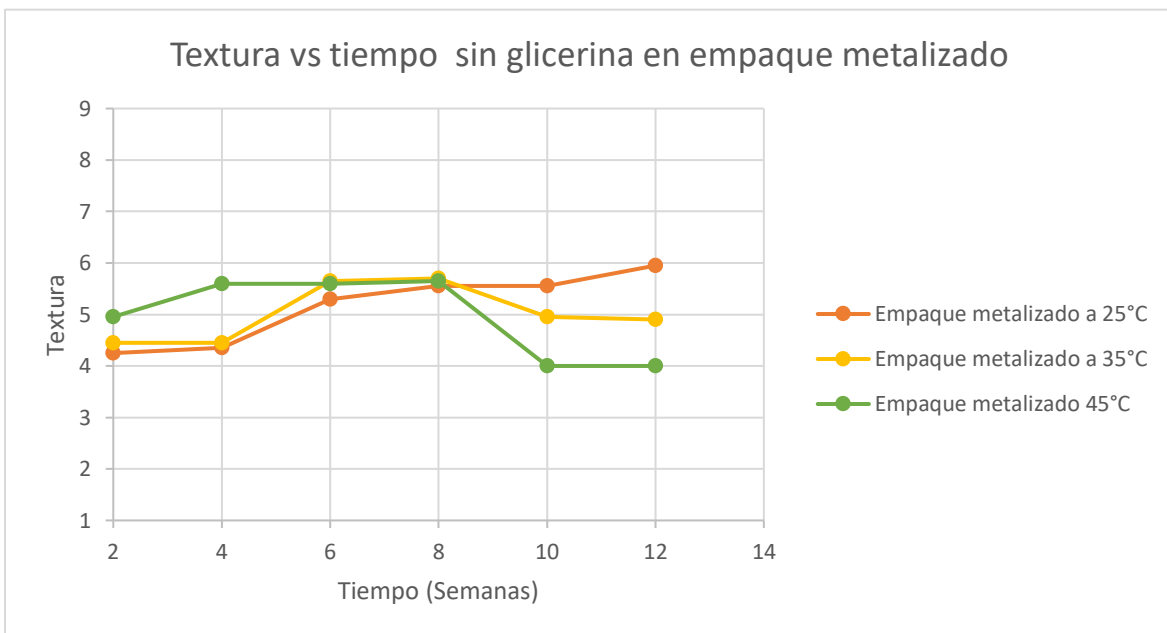
Fuente: Elaboración propia.

Figura 61. Evolución del sabor en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



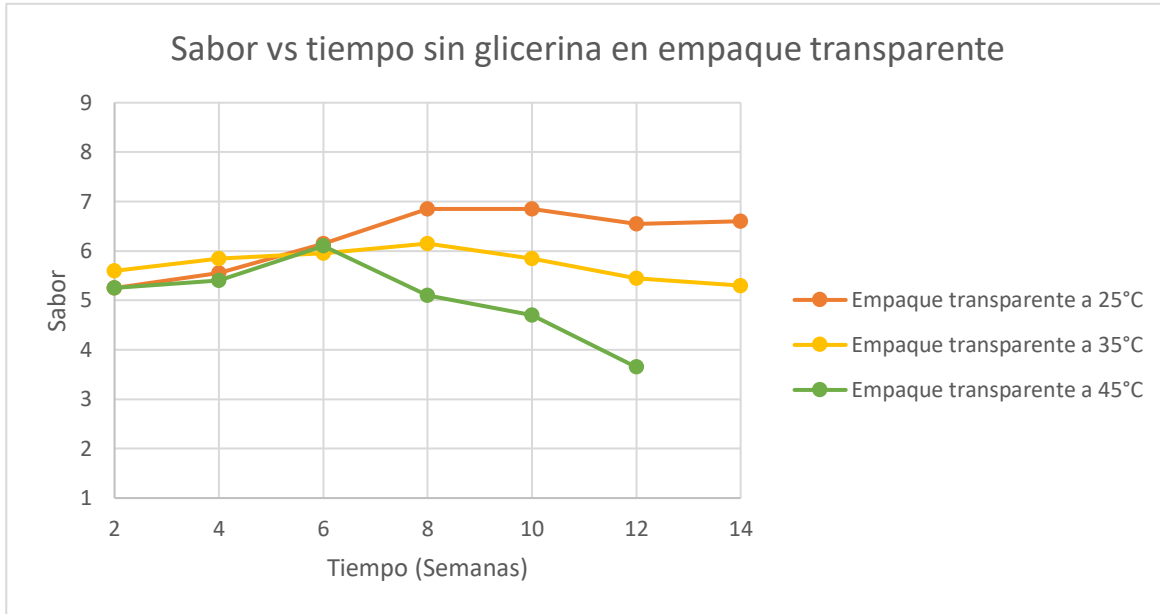
Fuente: Elaboración propia.

Figura 62. Evolución de la textura en barras de granola sin glicerina y empaque metalizado almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



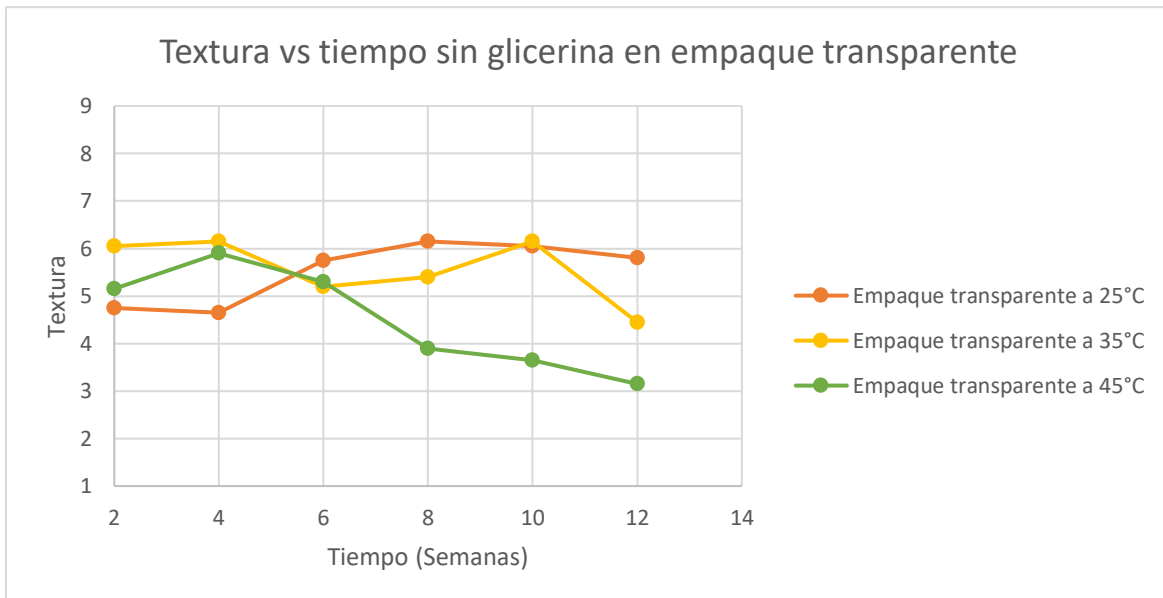
Fuente: Elaboración propia.

Figura 63. Evolución del sabor en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



Fuente: Elaboración propia.

Figura 64. Evolución de la textura en barras de granola sin glicerina y empaque transparente almacenado a diferentes condiciones durante 12 semanas y evaluado por un panel de consumidores



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 18. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 25°C

| <i>Semana</i> | Aw |
|---------------|-----------|
| 2 | 0.479 |
| 4 | 0.495 |
| 6 | 0.505 |
| 8 | 0.521 |
| 10 | 0.534 |
| 12 | 0.548 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 19. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 25°C

| <i>Semana</i> | Aw |
|---------------|-----------|
| 2 | 0.493 |
| 4 | 0.507 |
| 6 | 0.515 |
| 8 | 0.531 |
| 10 | 0.542 |
| 12 | 0.554 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 20. Evolución de la actividad de agua (Aw) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 35°C

| <i>Semana</i> | Aw |
|---------------|-----------|
| 2 | 0.510 |
| 4 | 0.587 |
| 6 | 0.544 |
| 8 | 0.591 |
| 10 | 0.608 |
| 12 | 0.628 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21. Evolución de la actividad de agua (A_w) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas

| <i>Empaque transparente a 35°C</i> | |
|------------------------------------|----------------------|
| <i>Semana</i> | <i>A_w</i> |
| 2 | 0.600 |
| 4 | 0.599 |
| 6 | 0.655 |
| 8 | 0.666 |
| 10 | 0.694 |
| 12 | 0.719 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 22. Evolución de la actividad de agua (A_w) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas

| <i>Empaque metalizado a 45°C</i> | |
|----------------------------------|----------------------|
| <i>Semana</i> | <i>A_w</i> |
| 2 | 0.588 |
| 4 | 0.658 |
| 6 | 0.635 |
| 8 | 0.688 |
| 10 | 0.712 |
| 12 | 0.739 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 23. Evolución de la actividad de agua (A_w) en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 45°C

| <i>Semana</i> | <i>A_w</i> |
|----------------------|-----------------------------|
| 2 | 0.619 |
| 4 | 0.666 |
| 6 | 0.680 |
| 8 | 0.702 |
| 10 | 0.733 |
| 12 | 0.759 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 24. Evolución de la actividad de agua (A_w) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 25°C

| <i>Semana</i> | <i>A_w</i> |
|----------------------|-----------------------------|
| 2 | 0.490 |
| 4 | 0.505 |
| 6 | 0.518 |
| 8 | 0.522 |
| 10 | 0.536 |
| 12 | 0.547 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 25. Evolución de la actividad de agua (A_w) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 25°C

| <i>Semana</i> | <i>A_w</i> |
|----------------------|-----------------------------|
| 2 | 0.507 |
| 4 | 0.520 |
| 6 | 0.521 |
| 8 | 0.542 |
| 10 | 0.549 |
| 12 | 0.560 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 26. Evolución de la actividad de agua (A_w) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 35°C

| <i>Semana</i> | <i>A_w</i> |
|----------------------|-----------------------------|
| 2 | 0.576 |
| 4 | 0.522 |
| 6 | 0.545 |
| 8 | 0.562 |
| 10 | 0.547 |
| 12 | 0.545 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 27. Evolución de la actividad de agua (A_w) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 35°C

| <i>Semana</i> | <i>A_w</i> |
|----------------------|-----------------------------|
| 2 | 0.620 |
| 4 | 0.629 |
| 6 | 0.656 |
| 8 | 0.679 |
| 10 | 0.697 |
| 12 | 0.717 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 28. Evolución de la actividad de agua (A_w) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 45°C

| <i>Semana</i> | <i>A_w</i> |
|----------------------|-----------------------------|
| 2 | 0.588 |
| 4 | 0.549 |
| 6 | 0.603 |
| 8 | 0.618 |
| 10 | 0.626 |
| 12 | 0.640 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 29. Evolución de la actividad de agua (A_w) en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 45°C

| <i>Semana</i> | <i>A_w</i> |
|----------------------|-----------------------------|
| 2 | 0.629 |
| 4 | 0.688 |
| 6 | 0.700 |
| 8 | 0.722 |
| 10 | 0.758 |
| 12 | 0.775 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 30. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 25°C

| <i>Semana</i> | <i>%H</i> |
|----------------------|------------------|
| 2 | 4.06 |
| 4 | 5.35 |
| 6 | 5.22 |
| 8 | 5.16 |
| 10 | 5.74 |
| 12 | 6.06 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 31. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 25°C

| <i>Semana</i> | <i>%H</i> |
|----------------------|------------------|
| 2 | 3.67 |
| 4 | 5.12 |
| 6 | 5.17 |
| 8 | 5.19 |
| 10 | 5.94 |
| 12 | 6.40 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 32. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 35°C

| <i>Semana</i> | <i>%H</i> |
|----------------------|------------------|
| 2 | 3.94 |
| 4 | 6.04 |
| 6 | 5.35 |
| 8 | 6.49 |
| 10 | 7.20 |
| 12 | 7.89 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 33. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 35°C

| <i>Semana</i> | <i>%H</i> |
|----------------------|------------------|
| 2 | 5.91 |
| 4 | 6.39 |
| 6 | 7.52 |
| 8 | 7.42 |
| 10 | 8.23 |
| 12 | 8.79 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 34. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 45°C

| <i>Semana</i> | <i>%H</i> |
|----------------------|------------------|
| 2 | 5.89 |
| 4 | 7.92 |
| 6 | 7.06 |
| 8 | 7.82 |
| 10 | 8.41 |
| 12 | 8.90 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 35. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 45°C

| <i>Semana</i> | <i>%H</i> |
|----------------------|------------------|
| 2 | 6.78 |
| 4 | 8.38 |
| 6 | 7.83 |
| 8 | 8.19 |
| 10 | 8.72 |
| 12 | 9.08 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 36. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 25°C

| <i>Semana</i> | <i>%H</i> |
|----------------------|------------------|
| 2 | 3.95 |
| 4 | 5.01 |
| 6 | 5.15 |
| 8 | 5.21 |
| 10 | 5.81 |
| 12 | 6.20 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 37. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 25°C

| <i>Semana</i> | <i>%H</i> |
|----------------------|------------------|
| 2 | 3.99 |
| 4 | 5.61 |
| 6 | 5.47 |
| 8 | 5.49 |
| 10 | 6.23 |
| 12 | 6.67 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 38. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 35°C

| <i>Semana</i> | <i>%H</i> |
|----------------------|------------------|
| 2 | 5.90 |
| 4 | 5.59 |
| 6 | 5.64 |
| 8 | 5.41 |
| 10 | 5.28 |
| 12 | 5.14 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 39. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 35°C

| <i>Semana</i> | <i>%H</i> |
|----------------------|------------------|
| 2 | 5.96 |
| 4 | 7.26 |
| 6 | 7.34 |
| 8 | 7.26 |
| 10 | 7.95 |
| 12 | 8.35 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 40. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 45°C

| <i>Semana</i> | <i>%H</i> |
|----------------------|------------------|
| 2 | 6.23 |
| 4 | 5.64 |
| 6 | 5.82 |
| 8 | 6.99 |
| 10 | 6.79 |
| 12 | 7.03 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 41. Evolución del porcentaje de humedad en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 45°C

| <i>Semana</i> | %H |
|---------------|-----------|
| 2 | 6.38 |
| 4 | 8.07 |
| 6 | 7.87 |
| 8 | 7.19 |
| 10 | 7.94 |
| 12 | 8.16 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 42. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 25°C

| <i>Semana</i> | Dureza (N) | Adhesividad (mJ) |
|---------------|-------------------|-------------------------|
| 2 | 13.38 | 0.97 |
| 4 | 22.00 | 1.77 |
| 6 | 17.63 | 0.63 |
| 8 | 34.28 | 1.20 |
| 10 | 26.85 | 1.13 |
| 12 | 23.84 | 2.80 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 43. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 25°C

| <i>Semana</i> | <i>Dureza (N)</i> | <i>Adhesividad (mJ)</i> |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 2 | 15.07 | 1.00 |
| 4 | 23.45 | 2.05 |
| 6 | 17.33 | 1.13 |
| 8 | 26.69 | 1.27 |
| 10 | 19.30 | 0.60 |
| 12 | 24.99 | 1.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 44. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 35°C

| <i>Semana</i> | <i>Dureza (N)</i> | <i>Adhesividad (mJ)</i> |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 2 | 21.11 | 1.27 |
| 4 | 16.83 | 1.67 |
| 6 | 20.54 | 0.93 |
| 8 | 33.75 | 1.40 |
| 10 | 10.17 | 0.57 |
| 12 | 30.56 | 0.73 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 45. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 35°C

| <i>Semana</i> | <i>Dureza (N)</i> | <i>Adhesividad (mJ)</i> |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 2 | 15.07 | 1.27 |
| 4 | 17.66 | 2.10 |
| 6 | 15.28 | 1.33 |
| 8 | 13.51 | 0.57 |
| 10 | 12.13 | 0.90 |
| 12 | 12.39 | 0.50 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 46. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 45°C

| <i>Semana</i> | <i>Dureza (N)</i> | <i>Adhesividad (mJ)</i> |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 2 | 17.51 | 0.67 |
| 4 | 10.98 | 0.67 |
| 6 | 14.22 | 0.53 |
| 8 | 9.57 | 0.77 |
| 10 | 25.42 | 1.97 |
| 12 | 15.52 | 0.60 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 47. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 45°C

| <i>Semana</i> | <i>Dureza (N)</i> | <i>Adhesividad (mJ)</i> |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 2 | 14.66 | 1.03 |
| 4 | 10.05 | 1.33 |
| 6 | 8.42 | 0.67 |
| 8 | 12.01 | 0.47 |
| 10 | 10.23 | 0.57 |
| 12 | 18.66 | 1.30 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 48. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 25°C

| <i>Semana</i> | <i>Dureza (N)</i> | <i>Adhesividad (mJ)</i> |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 2 | 34.36 | 1.30 |
| 4 | 56.72 | 2.97 |
| 6 | 48.76 | 1.85 |
| 8 | 65.43 | 3.70 |
| 10 | 65.44 | 1.87 |
| 12 | 31.91 | 1.27 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 49. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 25°C

| <i>Semana</i> | Dureza (N) | Adhesividad (mJ) |
|---------------|-------------------|-------------------------|
| 2 | 34.54 | 1.40 |
| 4 | 27.86 | 3.50 |
| 6 | 37.09 | 1.10 |
| 8 | 50.88 | 6.90 |
| 10 | 36.51 | 2.83 |
| 12 | 43.88 | 1.37 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 50. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 35°C

| <i>Semana</i> | Dureza (N) | Adhesividad (mJ) |
|---------------|-------------------|-------------------------|
| 2 | 28.00 | 1.43 |
| 4 | 54.86 | 2.37 |
| 6 | 40.71 | 3.53 |
| 8 | 64.57 | 4.53 |
| 10 | 66.55 | 6.75 |
| 12 | 20.04 | 0.33 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 51. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 35°C

| <i>Semana</i> | Dureza (N) | Adhesividad (mJ) |
|---------------|-------------------|-------------------------|
| 2 | 8.49 | 0.70 |
| 4 | 9.13 | 0.37 |
| 6 | 8.04 | 0.87 |
| 8 | 8.29 | 0.70 |
| 10 | 7.25 | 0.57 |
| 12 | 12.40 | 1.23 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 52. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 45°C

| <i>Semana</i> | Dureza (N) | Adhesividad (mJ) |
|---------------|-------------------|-------------------------|
| 2 | 22.53 | 1.75 |
| 4 | 42.53 | 2.10 |
| 6 | 19.75 | 0.97 |
| 8 | 24.74 | 1.60 |
| 10 | 34.32 | 0.57 |
| 12 | 34.91 | 1.00 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 53. Evolución de textura y adhesividad instrumental en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 45°C

| <i>Semana</i> | Dureza (N) | Adhesividad (mJ) |
|----------------------|-------------------|-------------------------|
| 2 | 8.08 | 1.33 |
| 4 | 6.95 | 0.43 |
| 6 | 8.51 | 0.47 |
| 8 | 10.78 | 0.67 |
| 10 | 4.060 | 4.95 |
| 12 | 24.58 | 0.30 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 54. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 25°C

| <i>Semana</i> | Sabor | Textura | Aceptación general |
|----------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| 2 | 7.75 | 7.70 | 7.75 |
| 4 | 7.45 | 7.30 | 7.30 |
| 6 | 7.30 | 6.95 | 7.15 |
| 8 | 7.20 | 7.00 | 7.15 |
| 10 | 7.15 | 7.00 | 7.25 |
| 12 | 6.90 | 6.25 | 6.75 |
| 14 | 6.6 | 6.75 | 6.85 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 55. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 25°C

| <i>Semana</i> | Sabor | Textura | Aceptación general |
|----------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| 2 | 7.50 | 7.55 | 7.40 |
| 4 | 7.45 | 7.40 | 7.35 |
| 6 | 7.00 | 6.90 | 6.80 |
| 8 | 6.60 | 6.70 | 6.60 |
| 10 | 6.70 | 6.85 | 6.65 |
| 12 | 6.60 | 6.05 | 6.55 |
| 14 | 6.80 | 6.70 | 6.80 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 56. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 35°C

| <i>Semana</i> | Sabor | Textura | Aceptación general |
|----------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| 2 | 6.70 | 6.65 | 6.45 |
| 4 | 6.40 | 6.65 | 6.35 |
| 6 | 6.25 | 6.25 | 6.15 |
| 8 | 5.00 | 4.95 | 5.40 |
| 10 | 6.05 | 5.30 | 5.8 |
| 12 | 5.80 | 5.50 | 5.75 |
| 14 | 6.10 | 5.65 | 6.15 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 57. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 35°C

| <i>Semana</i> | Sabor | Textura | Aceptación general |
|----------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| 2 | 6.00 | 5.95 | 6.05 |
| 4 | 5.90 | 5.80 | 5.90 |
| 6 | 5.95 | 5.00 | 5.55 |
| 8 | 5.30 | 5.70 | 5.30 |
| 10 | 5.00 | 4.25 | 4.60 |
| 12 | 4.90 | 4.40 | 4.70 |
| 14 | 5.5 | 4.75 | 5.2 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 58. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 45°C

| <i>Semana</i> | Sabor | Textura | Aceptación general |
|----------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| 2 | 5.65 | 5.8 | 5.65 |
| 4 | 5.60 | 5.85 | 5.60 |
| 6 | 5.75 | 5.35 | 5.40 |
| 8 | 5.50 | 5.40 | 5.45 |
| 10 | 5.20 | 5.05 | 4.85 |
| 12 | 3.95 | 3.50 | 3.75 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 59. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola con glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas

| <i>Empaque transparente a 45°C</i> | | | |
|------------------------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| <i>Semana</i> | Sabor | Textura | Aceptación general |
| 2 | 5.7 | 5.30 | 5.05 |
| 4 | 5.70 | 5.15 | 5.35 |
| 6 | 5.30 | 3.95 | 4.35 |
| 8 | 4.90 | 4.45 | 4.60 |
| 10 | 3.75 | 3.65 | 3.60 |
| 12 | 2.85 | 2.45 | 2.65 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 60. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 25°C durante 12 semanas

| <i>Empaque metalizado a 25°C</i> | | | |
|----------------------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| <i>Semana</i> | Sabor | Textura | Aceptación general |
| 2 | 5.60 | 4.25 | 4.40 |
| 4 | 5.70 | 4.35 | 4.95 |
| 6 | 6.75 | 5.30 | 6.10 |
| 8 | 6.55 | 5.55 | 6.25 |
| 10 | 6.35 | 5.55 | 6.15 |
| 12 | 6.50 | 5.95 | 6.10 |
| 14 | 6.00 | NA | 5.65 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 61. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 25°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 25°C

| <i>Semana</i> | Sabor | Textura | Aceptación general |
|----------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| 2 | 5.25 | 4.75 | 5.00 |
| 4 | 5.55 | 4.65 | 5.05 |
| 6 | 6.15 | 5.75 | 5.50 |
| 8 | 6.85 | 6.15 | 6.50 |
| 10 | 6.85 | 6.05 | 6.85 |
| 12 | 6.55 | 5.8 | 6.35 |
| 14 | 6.60 | NA | 6.25 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 62. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 35°C durante 12 semanas

Empaque metalizado a 35°C

| <i>Semana</i> | Sabor | Textura | Aceptación general |
|----------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| 2 | 4.90 | 4.45 | 4.50 |
| 4 | 4.80 | 4.45 | 4.55 |
| 6 | 6.20 | 5.65 | 5.85 |
| 8 | 5.55 | 5.70 | 5.60 |
| 10 | 5.90 | 4.95 | 5.55 |
| 12 | 5.30 | 4.90 | 5.10 |
| 14 | 5.90 | | 5.70 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 63. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 35°C durante 12 semanas

| <i>Empaque transparente a 35°C</i> | | | |
|------------------------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| <i>Semana</i> | Sabor | Textura | Aceptación general |
| 2 | 5.6 | 6.05 | 5.90 |
| 4 | 5.85 | 6.15 | 5.90 |
| 6 | 5.95 | 5.20 | 5.35 |
| 8 | 6.15 | 5.40 | 5.85 |
| 10 | 5.85 | 6.15 | 5.90 |
| 12 | 5.45 | 4.45 | 5.20 |
| 14 | 5.30 | NA | 4.65 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 64. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque metalizado a 45°C durante 12 semanas

| <i>Empaque metalizado a 45°C</i> | | | |
|----------------------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| <i>Semana</i> | Sabor | Textura | Aceptación general |
| 2 | 5.2 | 4.95 | 4.95 |
| 4 | 5.30 | 5.60 | 5.10 |
| 6 | 5.95 | 5.60 | 5.70 |
| 8 | 5.85 | 5.65 | 5.85 |
| 10 | 4.55 | 4.00 | 4.65 |
| 12 | 4.45 | 4.00 | 4.35 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 65. Evolución de criterios sensoriales, evaluados por un panel de consumidores, en barras de granola sin glicerina almacenadas en empaque transparente a 45°C durante 12 semanas

Empaque transparente a 45°C

| <i>Semana</i> | <i>Sabor</i> | <i>Textura</i> | <i>Aceptación general</i> |
|----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 2 | 5.25 | 5.15 | 5.20 |
| 4 | 5.40 | 5.90 | 5.55 |
| 6 | 6.10 | 5.30 | 5.50 |
| 8 | 5.10 | 3.90 | 4.55 |
| 10 | 4.70 | 3.65 | 4.40 |
| 12 | 3.65 | 3.15 | 3.10 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 66. Base de datos utilizada para la determinación de matriz de correlación

| <i>Semana</i> | <i>Glicerina</i> | <i>Empaque</i> | <i>Temperatura</i> | <i>Aw</i> | <i>Humedad</i> | <i>Sabor</i> | <i>Textura_Sensorial</i> | <i>Aceptación</i> | <i>Dureza</i> | <i>Adhesividad</i> |
|----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|
| 0 | Sí | | Control | 0.555 | 4.91 | 8.4 | 7.85 | 8.3 | 6114.67 | 0.13 |
| 0 | No | | Control | 0.567 | 4.81 | 7.3 | 7.05 | 7.15 | 7847.7 | 0.17 |
| 2 | Sí | Metálico | 25 | 0.479 | 4.06 | 7.75 | 7.7 | 7.75 | 1364.7 | 0.97 |
| 2 | Sí | Metálico | 35 | 0.51 | 3.94 | 6.7 | 6.65 | 6.45 | 2152.3 | 1.27 |
| 2 | Sí | Metálico | 45 | 0.588 | 5.89 | 5.65 | 5.8 | 5.65 | 1785.3 | 0.67 |
| 2 | Sí | Transparente | 25 | 0.493 | 3.67 | 7.5 | 7.55 | 7.4 | 1536.7 | 1 |
| 2 | Sí | Transparente | 35 | 0.6 | 5.91 | 6 | 5.95 | 6.05 | 1536.7 | 1.27 |
| 2 | Sí | Transparente | 45 | 0.619 | 6.78 | 5.7 | 5.3 | 5.05 | 1494.7 | 1.03 |
| 2 | No | Metálico | 25 | 0.49 | 3.95 | 5.6 | 4.25 | 4.4 | 3503.5 | 1.3 |
| 2 | No | Metálico | 35 | 0.576 | 5.9 | 4.9 | 4.45 | 4.5 | 2855.7 | 1.43 |
| 2 | No | Metálico | 45 | 0.588 | 6.23 | 5.2 | 4.95 | 4.95 | 2297.5 | 1.75 |
| 2 | No | Transparente | 25 | 0.507 | 3.99 | 5.25 | 4.75 | 5 | 3522 | 1.4 |
| 2 | No | Transparente | 35 | 0.62 | 5.96 | 5.6 | 6.05 | 5.9 | 866 | 0.7 |
| 2 | No | Transparente | 45 | 0.629 | 6.38 | 5.25 | 5.15 | 5.2 | 824.3 | 1.33 |
| 4 | Sí | Metálico | 25 | 0.495 | 5.35 | 7.45 | 7.3 | 7.3 | 2243.7 | 1.77 |
| 4 | Sí | Metálico | 35 | 0.587 | 6.04 | 6.4 | 6.65 | 6.35 | 1716 | 1.67 |
| 4 | Sí | Metálico | 45 | 0.658 | 7.92 | 5.6 | 5.85 | 5.6 | 1120 | 0.67 |
| 4 | Sí | Transparente | 25 | 0.507 | 5.12 | 7.45 | 7.4 | 7.35 | 2391 | 2.05 |
| 4 | Sí | Transparente | 35 | 0.599 | 6.39 | 5.9 | 5.8 | 5.9 | 1801 | 2.1 |
| 4 | Sí | Transparente | 45 | 0.666 | 6.39 | 5.7 | 5.15 | 5.35 | 1025 | 1.33 |
| 4 | No | Metálico | 25 | 0.505 | 5.01 | 5.7 | 4.35 | 4.95 | 5783.7 | 2.97 |
| 4 | No | Metálico | 35 | 0.522 | 5.59 | 4.8 | 4.45 | 4.55 | 5594 | 2.37 |
| 4 | No | Metálico | 45 | 0.549 | 5.64 | 5.3 | 5.6 | 5.1 | 4336.5 | 2.1 |

| <i>Semana</i> | Glicerina | Empaque | Temperatura | Aw | Humedad | Sabor | Textura_Sensorial | Aceptación | Dureza | Adhesividad |
|---------------|------------------|----------------|--------------------|-----------|----------------|--------------|--------------------------|-------------------|---------------|--------------------|
| 4 | No | Transparente | 25 | 0.52 | 5.61 | 5.55 | 4.65 | 5.05 | 2841 | 3.5 |
| 4 | No | Transparente | 35 | 0.629 | 7.26 | 5.85 | 6.15 | 5.9 | 931 | 0.37 |
| 4 | No | Transparente | 45 | 0.688 | 8.07 | 5.4 | 5.9 | 5.55 | 708.3 | 0.43 |
| 6 | Sí | Metálico | 25 | 0.505 | 5.22 | 7.3 | 6.95 | 7.15 | 1797.3 | 0.63 |
| 6 | Sí | Metálico | 35 | 0.544 | 5.35 | 6.25 | 6.25 | 6.15 | 2094 | 0.93 |
| 6 | Sí | Metálico | 45 | 0.635 | 7.06 | 5.75 | 5.35 | 5.4 | 1450.3 | 0.53 |
| 6 | Sí | Transparente | 25 | 0.515 | 5.17 | 7 | 6.9 | 6.8 | 1767.3 | 1.13 |
| 6 | Sí | Transparente | 35 | 0.655 | 7.52 | 5.95 | 5 | 5.55 | 1558.3 | 1.33 |
| 6 | Sí | Transparente | 45 | 0.68 | 7.83 | 5.3 | 3.95 | 4.35 | 858.7 | 0.67 |
| 6 | No | Metálico | 25 | 0.518 | 5.15 | 6.75 | 5.3 | 6.1 | 4972 | 1.85 |
| 6 | No | Metálico | 35 | 0.545 | 5.64 | 6.2 | 5.65 | 5.85 | 4151.7 | 3.53 |
| 6 | No | Metálico | 45 | 0.603 | 5.82 | 5.95 | 5.6 | 5.7 | 2014.3 | 0.97 |
| 6 | No | Transparente | 25 | 0.521 | 5.47 | 6.15 | 5.75 | 5.5 | 3782 | 1.1 |
| 6 | No | Transparente | 35 | 0.656 | 7.34 | 5.95 | 5.2 | 5.35 | 819.7 | 0.87 |
| 6 | No | Transparente | 45 | 0.7 | 7.87 | 6.1 | 5.3 | 5.5 | 867.7 | 0.47 |
| 8 | Sí | Metálico | 25 | 0.521 | 5.16 | 7.2 | 7 | 7.15 | 3496 | 1.2 |
| 8 | Sí | Metálico | 35 | 0.591 | 6.49 | 5 | 4.95 | 5.4 | 3441.3 | 1.4 |
| 8 | Sí | Metálico | 45 | 0.688 | 7.82 | 5.5 | 5.4 | 5.45 | 975.7 | 0.77 |
| 8 | Sí | Transparente | 25 | 0.531 | 5.19 | 6.6 | 6.7 | 6.6 | 2721.3 | 1.27 |
| 8 | Sí | Transparente | 35 | 0.666 | 7.42 | 5.3 | 5.7 | 5.3 | 1378 | 0.57 |
| 8 | Sí | Transparente | 45 | 0.702 | 8.19 | 4.9 | 4.45 | 4.6 | 1224.7 | 0.47 |
| 8 | No | Metálico | 25 | 0.522 | 5.21 | 6.55 | 5.55 | 6.25 | 6672.5 | 3.7 |
| 8 | No | Metálico | 35 | 0.562 | 5.41 | 5.55 | 5.7 | 5.6 | 6584.7 | 4.53 |
| 8 | No | Metálico | 45 | 0.618 | 6.99 | 5.85 | 5.65 | 5.85 | 2522.7 | 1.6 |
| 8 | No | Transparente | 25 | 0.542 | 5.49 | 6.85 | 6.15 | 6.5 | 5188 | 6.9 |
| 8 | No | Transparente | 35 | 0.679 | 7.26 | 6.15 | 5.4 | 5.85 | 845.7 | 0.7 |
| 8 | No | Transparente | 45 | 0.722 | 7.19 | 5.1 | 3.9 | 4.55 | 1099.3 | 0.67 |
| 10 | Sí | Metálico | 25 | 0.534 | 5.74 | 7.15 | 7 | 7.25 | 2738.3 | 1.13 |
| 10 | Sí | Metálico | 35 | 0.608 | 7.2 | 6.05 | 5.3 | 5.8 | 1036.7 | 0.57 |
| 10 | Sí | Metálico | 45 | 0.712 | 8.41 | 5.2 | 5.05 | 4.85 | 2592.3 | 1.97 |
| 10 | Sí | Transparente | 25 | 0.542 | 5.94 | 6.7 | 6.85 | 6.65 | 1968.3 | 0.6 |
| 10 | Sí | Transparente | 35 | 0.694 | 8.23 | 5 | 4.25 | 4.6 | 1237.3 | 0.9 |
| 10 | Sí | Transparente | 45 | 0.733 | 8.72 | 3.75 | 3.65 | 3.6 | 1043 | 0.57 |
| 10 | No | Metálico | 25 | 0.536 | 5.81 | 6.35 | 5.55 | 6.15 | 6672.7 | 1.87 |
| 10 | No | Metálico | 35 | 0.547 | 5.28 | 5.9 | 4.95 | 5.55 | 6786 | 6.75 |
| 10 | No | Metálico | 45 | 0.626 | 6.79 | 4.55 | 4 | 4.65 | 3499.5 | 0.57 |
| 10 | No | Transparente | 25 | 0.549 | 6.23 | 6.85 | 6.05 | 6.85 | 3723 | 2.83 |
| 10 | No | Transparente | 35 | 0.697 | 7.95 | 5.85 | 6.15 | 5.9 | 739.7 | 0.57 |
| 10 | No | Transparente | 45 | 0.758 | 7.94 | 4.7 | 3.65 | 4.4 | 414.3 | 4.95 |
| 12 | Sí | Metálico | 25 | 0.548 | 6.06 | 6.9 | 6.25 | 6.75 | 2431.5 | 2.8 |
| 12 | Sí | Metálico | 35 | 0.628 | 7.89 | 5.8 | 5.5 | 5.75 | 3116.7 | 0.73 |
| 12 | Sí | Metálico | 45 | 0.739 | 8.9 | 3.95 | 3.5 | 3.75 | 1583 | 0.6 |
| 12 | Sí | Transparente | 25 | 0.554 | 6.4 | 6.6 | 6.05 | 6.55 | 2548 | 1 |
| 12 | Sí | Transparente | 35 | 0.719 | 8.79 | 4.9 | 4.4 | 4.7 | 1263.7 | 0.5 |
| 12 | Sí | Transparente | 45 | 0.759 | 9.08 | 2.85 | 2.45 | 2.65 | 1903 | 1.3 |

| <i>Semana</i> | Glicerina | Empaque | Temperatura | Aw | Humedad | Sabor | Textura_Sensorial | Aceptación | Dureza | Adhesividad |
|---------------|------------------|----------------|--------------------|-----------|----------------|--------------|--------------------------|-------------------|---------------|--------------------|
| 12 | No | Metálico | 25 | 0.547 | 6.2 | 6.5 | 5.95 | 6.1 | 3254 | 1.27 |
| 12 | No | Metálico | 35 | 0.545 | 5.14 | 5.3 | 4.9 | 5.1 | 2044 | 0.33 |
| 12 | No | Metálico | 45 | 0.64 | 7.03 | 4.45 | 4 | 4.35 | 3560 | 1 |
| 12 | No | Transparente | 25 | 0.56 | 6.67 | 6.55 | 5.8 | 6.35 | 4474.3 | 1.37 |
| 12 | No | Transparente | 35 | 0.717 | 8.35 | 5.45 | 4.45 | 5.2 | 1264.7 | 1.23 |
| 12 | No | Transparente | 45 | 0.775 | 8.16 | 4.7 | 3.65 | 4.4 | 2506.3 | 0.3 |
| 14 | Sí | Metálico | 25 | | | 6.6 | 6.75 | 6.85 | | |
| 14 | Sí | Metálico | 35 | | | 6.1 | 5.65 | 6.15 | | |
| 14 | Sí | Transparente | 25 | | | 6.8 | 6.7 | 6.8 | | |
| 14 | Sí | Transparente | 35 | | | 5.5 | 4.75 | 5.2 | | |
| 14 | No | Metálico | 25 | | | 6 | | 5.65 | | |
| 14 | No | Metálico | 35 | | | 5.9 | | 5.7 | | |
| 14 | No | Transparente | 25 | | | 6.6 | | 6.25 | | |
| 14 | No | Transparente | 35 | | | 5.3 | | 4.65 | | |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Output RStudio para determinación de matriz de correlación

```
library(tidyverse)
```

```
## — Attaching core tidyverse packages ————— tidyverse 2.0.0 —
## ✓ dplyr 1.1.4 ✓ readr 2.1.5
## ✓ forcats 1.0.0 ✓ stringr 1.5.1
## ✓ ggplot2 3.5.2 ✓ tibble 3.3.0
## ✓ lubridate 1.9.4 ✓ tidyr 1.3.1
## ✓ purrr 1.1.0
## — Conflicts ————— tidyverse_conflicts() —
## X dplyr::filter() masks stats::filter()
## X dplyr::lag() masks stats::lag()
## i Use the conflicted package (<http://conflicted.r-lib.org/>) to force all conflicts to become errors
```

```
library(reshape2)
```

```
##
## Attaching package: 'reshape2'
##
## The following object is masked from 'package:tidyr':
##
## smiths
```

```
library(ggplot2)
```

```
datos <- read.csv("DataFrameTodosDatosFinal.csv", sep = ",", encoding = "latin1")

datos <- datos %>%
  mutate(across(.cols = everything(), ~as.character(.))) %>%
  mutate(across(.cols = everything(), ~na_if(., ""))) %>%
  mutate(across(.cols = where(~ all(grepl("^\\d+$|^\\d+\\.\\.\\d+$", na.omit(.))), as.numeric))
variables_excluir <- c("Semana", "ID", "Glicerina", "Empaque", "Temperatura", "Mx")
variables_sensoriales <- setdiff(names(datos), variables_excluir)
datos_limpios <- datos %>%
  drop_na(all_of(c("Semana", "Temperatura", variables_sensoriales)))
pendientes <- datos_limpios %>%
  pivot_longer(cols = all_of(variables_sensoriales),
               names_to = "Descriptor", values_to = "Valor") %>%
  group_by(Temperatura, Descriptor) %>%
  summarize(Pendiente = coef(lm(Valor ~ as.numeric(Semana)))[2], .groups = "drop") %>%
  mutate(Pendiente = round(Pendiente, 4)) %>%
  arrange(desc(abs(Pendiente)))
print("Pendientes por descriptor y temperatura:")
```

Anexo 3. Formulario de consentimiento informado y evaluación sensorial para panelistas

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PANEL SENSORIAL

Estimado(a) participante,

Como parte de la investigación para una tesis académica, se está llevando a cabo un panel sensorial con el propósito de evaluar las características organolépticas de barras de granola. Su participación en este estudio es voluntaria y consiste en la degustación del producto y la posterior respuesta a una serie de preguntas sobre su percepción sensorial.

La información que nos brinde será tratada de manera confidencial y utilizada exclusivamente con fines académicos. No existen riesgos asociados con la participación en este estudio, exceptuando a personas que tienen alergias alimentarias a las **nueces**.

Por favor, indique su consentimiento seleccionando una de las opciones:

- Acepto, no presento alergias a las nueces y deseo participar en el panel sensorial.
- No acepto, soy alérgico(a) a las nueces o no deseo participar.

Nombre del participante: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Instrucciones: En el espacio indicado, escriba el número de muestra que va a evaluar. A continuación, pruebe las siguientes muestras de izquierda a derecha, limpiando su paladar con agua entre cada una de ellas e indique qué tanto le gusta. No es necesario que coma todas las muestras.

Código de la muestra: _____

Marque en la escala CUÁNTO LE GUSTA la muestra.

| Me disgusta muchísimo | Me disgusta mucho | Me disgusta bastante | Me disgusta ligeramente | Ni me gusta, ni me disgusta | Me gusta ligeramente | Me gusta bastante | Me gusta mucho | Me gusta muchísimo |
|-----------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------|----------------|--------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Marque en la escala CUÁNTO LE GUSTA EL SABOR de la muestra.

| Me disgusta muchísimo | Me disgusta mucho | Me disgusta bastante | Me disgusta ligeramente | Ni me gusta, ni me disgusta | Me gusta ligeramente | Me gusta bastante | Me gusta mucho | Me gusta muchísimo |
|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Marque en la escala CUÁNTO LE GUSTA LA TEXTURA de la muestra.

| Me disgusta muchísimo | Me disgusta mucho | Me disgusta bastante | Me disgusta ligeramente | Ni me gusta, ni me disgusta | Me gusta ligeramente | Me gusta bastante | Me gusta mucho | Me gusta muchísimo |
|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

*Se repetirá cuatro veces el mismo formato, haciendo la misma pregunta para cada combinación.

Muchas gracias por su participación, no olvide recoger su premio. ¡Feliz día!

