

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE CEBOLLA COMO FUENTE DE
OBTENCIÓN DE ADITIVOS PARA RECUBRIMIENTOS POSTCOSECHA

Tesis

Que presenta ANA LIDIA RUEDA ALTUNAR

como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila

Mayo 2024

VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE CEBOLLA COMO FUENTE DE
OBTENCIÓN DE ADITIVOS PARA RECUBRIMIENTOS POSTCOSECHA

Tesis

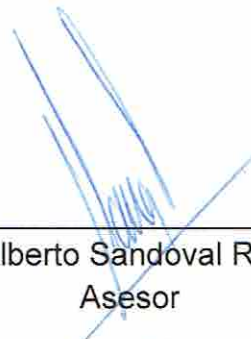
Elaborada por ANA LIDIA RUEDA ALTUNAR como requisito parcial para
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura con la supervisión y
aprobación del Comité de Asesoría



Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez
Director de Tesis



Dr. Armando Robledo Olivo
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Asesor



Dra. Susana González Morales
Asesor



Dra. María Liliانا Flores López
Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A Dios por llenar mi vida de bendiciones, por acompañarme y guiarme a lo largo de mi carrera, por permitir culminar este proyecto, ser mi fortaleza para seguir adelante en metas que me propongo, estar siempre conmigo, cada momento y darme una vida llena de aprendizajes, experiencias y de mucha felicidad.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por la oportunidad de abrir sus puertas y conocimientos para crecer personal y profesionalmente. Por permitir llevar en alto el nombre de la universidad y recordar a mi **Alma Terra Mater**.

Al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos y al Departamento de Horticultura.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de la Maestría en Ciencias en Horticultura.

A la **Dra. Dolores Gabriela Martínez Vázquez** por su conocimiento y tiempo, por considerarme en su proyecto de investigación y por el apoyo brindado. Sin su valioso apoyo, no hubiera culminado este trabajo.

Al **Dr. Armando Robledo Olivo** por su apoyo en el proyecto, por compartir su valioso conocimiento, por su paciencia, amabilidad, confianza, su disposición en cualquier momento y por ser una gran persona.

A la **Dra. Dra. Susana González Morales** por su contribución a este trabajo y el tiempo brindado para concluir satisfactoriamente con este proyecto.

A la **Dra. María Liliana Flores López** por su conocimiento, por las observaciones y sugerencias hechas de manera puntual y objetiva, su atención y amabilidad.

Al **Dr. Alberto Sandoval Rangel** por su disponibilidad y apoyo durante el proyecto.

A los docentes que fueron partícipes en mi formación en esta etapa profesional, los consejos compartidos, el apoyo incondicional en todo momento y sus experiencias en el mundo laboral, mis agradecimientos.

DEDICATORIAS

A mis padres

Al Sr. Bartolomé Rueda Sánchez y la Sra. Eleuteria Altunar Valle

Por darme la vida, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en quien soy, por siempre estar conmigo cada momento con su apoyo incondicional. Gracias por enseñarme a ser una persona de bien, a perseguir mis sueños, a alcanzar las metas que me propongo y, sobre todo, confiaron siempre en mí. A pesar de la distancia, sé que estamos juntos de corazón, porque ustedes han puesto los cimientos de la persona que soy ahora y siempre les estaré agradecida. Son mi gran ejemplo y esto es por ustedes, ahora puedo decirles que lo logré, se cumplió el objetivo. **Mi agradecimiento infinito.**

A Mis Hermanos

Carlos, Alfredo, Sebastián, Guadalupe, Ricardo Manuel, Ezequiel y Martha Soledad, gracias por ser siempre partícipes en mi vida y con ustedes compartir buenos y malos momentos. Sabemos que no fue sencillo culminar con éxito este proyecto, sin embargo, con la confianza brindada pudimos lograr esta meta. Hoy puedo decir que lo logré por ustedes, gracias por estar ahí en los momentos importantes de mi vida.

Agradezco a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, por su amistad, apoyo, ánimo y compañía a lo largo de las distintas etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo, otros en mi memoria y en mi corazón. Sin importar en donde estén, quiero agradecer por formar parte de mí y todo lo que me han brindado. Gracias por el pequeño aporte, eres el responsable de hacer realidad este gran esfuerzo.

MUCHAS GRACIAS

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS.....	iv
INDICE GENERAL	v
INDICE DE CUADROS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xix
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	3
HIPÓTESIS	5
OBJETIVOS	5
General	5
Específicos	5
REVISIÓN DE LITERATURA	6
Generalidades	6
Cebolla (<i>Allium Cepa</i> L.)	7
Producción agroindustrial	7
Residuos de cebolla	8
Composición de los residuos de cebolla.....	9
Fermentación	13
Tomate (<i>Solanum Lycopersicum</i> L.).....	14
Producción del tomate	15
Problemas en postcosecha del tomate	15
Agentes patógenos en postcosecha	16
Temperatura	17
Calidad del producto	17
Recubrimientos comestibles.....	18
Selección y aplicación del recubrimiento comestible	18
Propiedades funcionales del recubrimiento comestible	19
Chía (<i>Salvia hispánica</i> L.)	19

Composición de la semilla de chía	20
Mucílago de chía	21
Composición del mucílago de chía	22
Propiedades funcionales de compuestos bioactivos y su aplicación en recubrimientos comestibles	22
Cinética del deterioro en alimentos	24
Pruebas para predecir la vida útil	25
Prueba acelerada	25
Determinación de parámetros cinéticos.....	27
Expresión del orden de reacción de deterioro	27
Modelización de la cinética de degradación	28
Q ₁₀	30
Pruebas de calidad.....	32
MATERIALES Y MÉTODOS	33
Etapla I: Recolección y Caracterización de Materia Prima.....	33
Materia prima	33
Caracterización del residuo de cebolla.....	33
Proteína	33
Fibra cruda.....	33
Azúcares totales	34
Azúcares reductores	34
Fenoles hidrolizables totales.....	35
Etapla II: Proceso de fermentación para la recuperación de compuestos bioactivos	35
Procedimientos para fermentación sumergida	35
Microorganismo	35
Recuento de Esporas	35
Preparación del proceso de fermentación	36
Producción de compuestos bioactivos.....	37
Recuperación del extracto fermentado	37
Recuperación de biomasa fúngica.....	37

Caracterización de la fermentación sumergida	37
Biomasa fúngica	37
Azúcares totales	38
Azúcares reductores	39
Fenoles hidrolizables totales.....	39
Flavonoides totales (Quercetina)	39
Capacidad antioxidante	39
Aminoácidos totales.....	40
Alicina	40
Actividad antifúngica	40
Análisis estadístico	41
Etapla III: Aplicación del recubrimiento comestible y su evaluación de parámetros de calidad en el fruto de tomate.....	41
Materia prima	41
Selección del recubrimiento comestible	41
Funcionalización del recubrimiento comestible	42
Tratamientos	42
Preparaciones del material.....	43
Concentración del cloruro de calcio y alginato de sodio	43
Extracción del mucílago.....	43
Formulación del recubrimiento.....	43
Procesos en la aplicación del recubrimiento comestible sobre el fruto	44
Acondicionamiento del fruto.....	44
Aplicación del recubrimiento comestible	44
Acondicionamiento de los tratamientos	44
Evaluación de los parámetros de calidad	44
Peso del fruto.....	45
Firmeza del fruto	45
Sólidos solubles totales (SST)	45
pH	45
Evaluación del color.....	45

Análisis estadístico	46
Evaluación del modelo cinético de degradación.....	46
RESULTADO Y DISCUSIÓN	47
Análisis Físico-Químico del residuo de cebolla.	47
Fermentación sumergida.....	48
Cinética de crecimiento de <i>Aspergillus niger</i>	48
Cinética de azúcares totales y reductores	49
Cinética de los fenoles hidrolizables totales	51
Cinética de flavonoides totales	51
Cinética de la capacidad antioxidante	52
Cinética de aminoácidos totales	54
Cinética de Alicina	55
Actividad antifúngica	56
Desarrollo de recubrimientos comestible y funcional a base de mucílago de chía	59
Funcionalización de recubrimiento comestible	60
Aplicación de recubrimiento comestible.....	60
Postcosecha de tomate.....	61
Pérdida de peso fisiológica	61
Firmeza.....	65
Sólidos solubles totales (SST)	69
pH	73
Color L*	76
Color a*	80
Color b*	83
Efecto de la temperatura sobre los recubrimientos comestibles y la adición de EF	87
Modelo cinético de degradación térmica de tomate	96
Cinética de degradación en pérdida de peso (%)	97
Cinética de degradación de firmeza (N)	99
Cinética de degradación de los Sólidos solubles totales (SST)	101

Cinética de degradación del pH.....	103
Cinética de degradación de luminosidad (L*)	104
Cinética de degradación de cromaticidad rojo (a*)	106
Cinética de degradación de cromaticidad amarillo (b*).....	108
CONCLUSIÓN.....	111
RECOMENDACIONES.....	113
REFERENCIA.....	114
ANEXOS.....	146

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición de diferentes partes de los residuos de cebolla.	10
Cuadro 2. Diversas aplicaciones de los residuos de cebolla y su posible uso alimentario.	12
Cuadro 3. Estudios sobre el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles en los alimentos.	23
Cuadro 4. Factores importantes en la estabilidad de los alimentos durante el procesamiento y almacenamiento.	25
Cuadro 5. Ecuaciones para calcular la vida media de un alimento en función al orden de reacción.	28
Cuadro 6. Composición del medio Czapek Dox.	36
Cuadro 7. Aplicación de tratamientos	42
Cuadro 8. Composición Físico-Químico de residuo de cebolla.	47
Cuadro 9. Efecto antifúngico expresado en porcentaje (%) de inhibición contra <i>Aspergillus niger</i>	58
Cuadro 10. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y valor Q_{10} en la pérdida de peso.	97
Cuadro 11. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} en la pérdida de firmeza (N).	100
Cuadro 12. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} en SST ($^{\circ}$ Brix).	102
Cuadro 13. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} en pH.	103
Cuadro 14. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} del parámetro L^*	104
Cuadro 15. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} del parámetro a^*	106
Cuadro 16. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} del parámetro b^*	108

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferentes partes de la cebolla (El Mashad et al., 2019).....	8
Figura 2. Tomate Saladette (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) (Latamseeds, 2023)...	15
Figura 3. Métodos de aplicación de recubrimientos y películas comestibles (imagen propia).....	19
Figura 4. Salvia hispánica L. A) Cultivo, B) Flor y C) Semilla (MEFCCA, 2023).	20
Figura 5. Semilla de chía A) Hidratado y B) Formación de gel mucilaginoso (Muñoz et al., 2012b).....	22
Figura 6. Representación esquemática de reacciones de orden cero y primero para la pérdida de calidad de un alimento en función del tiempo (Valentas et al., 1997).....	28
Figura 7. Grafica para obtener la E_a	29
Figura 8. Grafica para obtener el Q_{10}	31
Figura 9. Conteos en la cámara de Neubauer.	36
Figura 10. Fermentación sumergida de 0 a 10 días.....	37
Figura 11. Diagrama de flujo para la cuantificación de glucosamina.	38
Figura 12. Proceso de obtención del mucílago de chía: A) Hidratación de la semilla, B) Centrifugado y C) Obtención del mucílago de chía (imagen propia).	43
Figura 13. Procesos en la aplicación del recubrimiento comestible: A) Inmersión del tomate en la matriz, B) Fruto sumergido en CaCl_2 y C) Formación del recubrimiento en el fruto modelo (imagen propia).....	44
Figura 14. Crecimiento de <i>A. niger</i> por SmF utilizando glucosa y cebolla como sustrato.	49
Figura 15. Cinética de consumo de azúcares totales y reductores durante el proceso de SmF.....	50
Figura 16. Comportamiento cinético de los fenoles hidrolizables totales durante el proceso de SmF.....	51
Figura 17. Comportamiento cinético de los flavonoides totales durante el proceso de SmF.	52
Figura 18. Comportamiento cinético de la capacidad antioxidante durante el proceso de SmF.....	53

Figura 19. Comportamiento cinético de los aminoácidos totales durante el proceso de SmF.....	54
Figura 20. Comportamiento cinético de la alicina durante el proceso de SmF.	55
Figura 21. Efecto antifúngico expresado en porcentaje (%) de inhibición contra <i>Rhizopus stolonifer</i> . Las letras sobre las barras indican si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).	57
Figura 22. Pérdida de peso expresado en porcentaje (%) en frutos de tomates durante su almacenamiento postcosecha bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 25 °C. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.	62
Figura 23. Pérdida de peso expresado en porcentaje (%) en frutos de tomates durante su almacenamiento postcosecha bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 35 °C. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.	63
Figura 24. Pérdida de peso expresado en porcentaje (%) en frutos de tomates durante su almacenamiento postcosecha bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 45 °C. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.	64
Figura 25. Firmeza en los frutos de tomate expresados en Newtons, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 25 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....	66
Figura 26. Firmeza en los frutos de tomate expresados en Newtons, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 35 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....	67
Figura 27. Firmeza en los frutos de tomate expresados en Newtons, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 45 ° C en diferente tratamiento. Las	

líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....68

Figura 28. Sólidos solubles totales en los frutos de tomate expresados en °Brix, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 25 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.70

Figura 29. Sólidos solubles totales en los frutos de tomate expresados en ° Brix, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 35 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.71

Figura 30. Sólidos solubles totales en los frutos de tomate expresados en °Brix, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 45 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.72

Figura 31. Valores de pH del fruto de tomate, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 25 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....73

Figura 32. Valores de pH del fruto de tomate, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 35 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....74

Figura 33. Valores de pH del fruto de tomate, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 45 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia

según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....75

Figura 34. Valores de L^* (luminosidad) obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 25 ° C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....77

Figura 35. Valores de L^* (luminosidad) obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 35 ° C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....78

Figura 36. Valores de L^* (luminosidad) obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 45 ° C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....79

Figura 37. Valores de a^* [a^* = cambio de color del eje verde (-) al rojo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 25 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....80

Figura 38. Valores de a^* [a^* = cambio de color del eje verde (-) al rojo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 35 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....81

Figura 39. Valores de a^* [a^* = cambio de color del eje verde (-) al rojo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 45 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....82

Figura 40. Valores de b^* [b^* = cambio de color del eje azul (-) al amarillo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 25 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....84

Figura 41. Valores de b^* [b^* = cambio de color del eje azul (-) al amarillo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 35 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....85

Figura 42. Valores de b^* [b^* = cambio de color del eje azul (-) al amarillo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 45 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.....86

Figura 43. Cambios visuales en parámetros de tomates almacenados a 25 °C durante 9 días bajo diferentes tratamientos.....90

Figura 44. Cambios visuales en parámetros de tomates almacenados a 35 °C durante 9 días bajo diferentes tratamientos.....91

Figura 45. Cambios visuales en parámetros de tomates almacenados a 45 °C durante 9 días bajo diferentes tratamientos.....93

RESUMEN

VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE CEBOLLA COMO FUENTE DE
OBTENCIÓN DE ADITIVOS PARA RECUBRIMIENTOS POSTCOSECHA

POR

ANA LIDIA RUEDA ALTUNAR
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DRA. DOLORES GABRIELA MARTÍNEZ VÁZQUEZ - ASESOR

La importancia de caracterizar los residuos de cáscara de cebolla radica en comprender el material y sus propiedades requeridas para su uso como sustrato. Presentando una composición de fibra cruda y contenido de proteína. Los carbohidratos sirven como sustratos para la producción de diversos compuestos fenólicos, obteniendo un excelente contenido de azúcares y concentración de fenoles totales. El material es prometedor y proporciona los nutrientes necesarios para su uso como sustrato.

El desarrollo de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de residuos agroindustriales, implica su uso como soportes o sustratos para la producción de compuestos bioactivos mediante fermentación sumergida (SmF), utilizando microorganismos capaces de degradar las paredes celulares de los vegetales. El objetivo del estudio fue utilizar residuos de cebolla como sustrato de *Aspergillus niger* para la producción de un extracto rico en compuestos bioactivos utilizando SmF. Las evaluaciones del extracto fermentado (EF) se realizaron por triplicado cada 24 h durante 240 h, para evaluar la cinética del proceso de producción de compuestos bioactivos. Los resultados obtenidos mostraron la capacidad de *Aspergillus niger* para utilizar residuos de cebolla como fuente de carbono. El crecimiento del microorganismo permitió la producción de metabolitos secundarios como fenoles hidrolizables, flavonoides, aminoácidos totales, alicina y buena capacidad antioxidante. Se demostró que el uso de residuos de cebolla como sustrato por SmF permite obtener una mejor concentración de compuestos bioactivos de alto interés.

Los extractos naturales son alternativas para el control de hongos fitopatógenos ya que contienen compuestos polifenólicos con diversas propiedades biológicas, incluidas buenas funciones antimicrobianas y antioxidantes. El EF mostró un efecto significativo a una concentración de 2500 mgL⁻¹, inhibiendo el crecimiento micelial de *Rhizopus Stolonifer* en un 59.6%, mientras que la situación fue diferente para *Aspergillus niger*, al no mostrar efectos significativos de inhibición. Así como su efecto antifúngico sobre hongos patógenos de importancia comercial y en busca de su aplicación, se incorporó como un aditivo para la funcionalización del recubrimiento comestible aplicado sobre el tomate y evaluar su efecto en la

calidad poscosecha. El experimento incluyó tres tratamientos: 1) sin recubrimiento o testigo (T), 2) recubrimiento comestible (RC) y 3) recubrimiento comestible adicionado con extracto fermentado (RC+EF). Los frutos de tomate son adquiridos en su óptima madurez, se seleccionaron por apariencia y calidad. Los tratamientos se almacenaron a temperaturas correspondientes (25, 35 y 45 °C) a 60 % de HR. Los parámetros de calidad (pérdida de peso, firmeza, SST, pH y color) se evaluaron durante 9 días. Los datos se analizaron estadísticamente mediante análisis de varianza y las pruebas de comparación de medias se evaluaron con Tukey ($p \leq 0.05$). Los resultados mostraron una mayor pérdida de calidad en los frutos tratados con RC y RC+EF en comparación con el testigo, indicando un efecto negativo del recubrimiento sobre los frutos de tomate. El estudio a diferentes temperaturas mostró diferencias en la calidad, con menores pérdidas de parámetros a temperaturas bajas y mayores pérdidas a temperaturas más altas, reduciendo rápidamente la vida poscosecha de los tomates.

Además, la influencia de la temperatura expone al fruto a una prueba de vida acelerada, donde los estudios cinéticos son una herramienta útil para evaluar los cambios en la calidad y vida útil del alimento. Considerando los parámetros anteriores, mediante el modelo de Arrhenius se determinó la energía de activación (E_a), la constante de velocidad (k), la vida útil (t) y el coeficiente de temperatura por el método Q_{10} . A mayor temperatura, la cinética de velocidad de cambio hace referencia a mayor velocidad de deterioro (k), alta sensibilidad térmica (E_a), una vida útil más corta causado por la degradación térmica y mayor velocidad de reacción (Q_{10}). Los efectos fueron más significativos para los tratados con RC y RC+EF en comparación con los testigos al conservar mejores propiedades. Para los parámetros de pH y color $L^*a^*b^*$ a 35 °C, se encontró que los tratamientos RC y RC+EF protegen al fruto de los efectos de la temperatura, reduciendo la tasa de degradación y propiciando una mejor retención.

Palabras Clave: *Allium cepa* L., fermentación sumergida, compuestos bioactivos, actividad antifúngica, recubrimiento comestible, vida útil.

ABSTRACT

VALORIZATION OF ONION WASTE AS A SOURCE OF OBTAINING
ADDITIVES FOR POST HARVEST COATINGS

BY

ANA LIDIA RUEDA ALTUNAR
MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DRA. DOLORES GABRIELA MARTÍNEZ VÁZQUEZ - ADVISER

The importance of characterizing onion peel waste lies in understanding the material and its properties required for its use as a substrate. Presenting a composition of crude fiber and protein content. The carbohydrates serve as substrates for the production of various phenolic compounds, obtaining an excellent sugar content and concentration of total phenols. The material is promising and provides the necessary nutrients for its use as a substrate.

The development of new technologies for the utilization of agroindustrial wastes involves their use as supports or substrates for the production of bioactive compounds by submerged fermentation (SmF), using microorganisms capable of degrading plant cell walls. The objective of the study was to use onion waste as a substrate for *Aspergillus niger* for the production of an extract rich in bioactive compounds using SmF. Evaluations of the fermented extract (EF) were performed in triplicate every 24 h for 240 h to assess the kinetics of the bioactive compound production process. The results obtained showed the ability of *Aspergillus niger* to use onion waste as a carbon source. The growth of the microorganism allowed the production of secondary metabolites such as hydrolyzable phenols, flavonoids, total amino acids, allicin and good antioxidant capacity. It was demonstrated that the use of onion residues as substrate by SmF allows obtaining a better concentration of bioactive compounds of high interest.

Natural extracts are alternatives for the control of phytopathogenic fungi as they contain polyphenolic compounds with diverse biological properties, including good antimicrobial and antioxidant functions. The EF showed a significant effect at a concentration of 2500 mgL⁻¹, inhibiting mycelial growth of *Rhizopus Stolonifer* by 59.6%, while the situation was different for *Aspergillus niger*, showing no significant inhibition effects.

As well as its antifungal effect on pathogenic fungi of commercial importance and in search of its application, it was incorporated as an additive for the functionalization of the edible coating applied on tomato and to evaluate its effect on postharvest quality. The experiment included three treatments: 1) no coating or control (T), 2) edible coating (RC) and 3) edible coating added with fermented extract (RC+EF). Tomato fruits were purchased at optimum maturity, selected for

appearance and quality. The treatments were stored at corresponding temperatures (25, 35 and 45 °C) at 60 % RH. Quality parameters (weight loss, firmness, TSS, pH and color) were evaluated for 9 days. Data were statistically analyzed by analysis of variance and mean comparison tests were evaluated with Tukey ($p \leq 0.05$). The results showed a greater loss of quality in fruits treated with RC and RC+EF compared to the control, indicating a negative effect of the coating on tomato fruits. The study at different temperatures showed differences in quality, with lower parameter losses at lower temperatures and higher losses at higher temperatures, rapidly reducing the postharvest life of tomatoes.

In addition, the influence of temperature exposes the fruit to an accelerated shelf life test, where kinetic studies are a useful tool to evaluate changes in the quality and shelf life of the food. Considering the above parameters, using the Arrhenius model, the activation energy (E_a), the rate constant (k), the shelf life (t) and the temperature coefficient were determined by the Q_{10} method. At higher temperature, the rate of change kinetics refers to higher decay rate (k), high thermal sensitivity (E_a), shorter shelf life caused by thermal degradation and higher reaction rate (Q_{10}). The effects were more significant for those treated with RC and RC+EF compared to the controls as they retained better properties. For pH and color $L^*a^*b^*$ at 35 °C, RC and RC+EF treatments were found to protect the fruit from the effects of temperature, reducing the rate of degradation and favoring better retention.

Keywords: *Allium cepa* L., submerged fermentation, bioactive compounds, antifungal activity, edible coating, shelf life.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, los productores se tienen que enfrentar a mercados nacionales e internacionales donde la calidad, el tamaño y la frescura de sus productos deben ser competitivos bajo adecuados manejos y prácticas de cosecha y postcosecha. Cuando los productos alimentarios no cumplen con los estándares establecidos de calidad son desechados y considerados desperdicio.

Diversos sectores generan una gran cantidad de residuos, de los cuales corresponden a distintas partes de las plantas que quedan como porciones no consumidas, encontrándose los tallos, hojas, piel, semillas, raíces, cáscara, etc., generados durante el procesamiento de productos alimentarios, y su rápido aumento se está convirtiendo en un problema medioambiental, al ser considerado como desperdicios. Los residuos de las agroindustrias pueden servir como importante materia prima para el desarrollo de productos alimentarios de valor agregado, siendo una opción de bajo costo al incluir materias orgánicas (Hussain *et al.*, 2020).

La cebolla (*Allium cepa* L.) es uno de los principales productos agrícolas del mundo, ocupando el segundo lugar después del tomate (Benítez *et al.*, 2011b; Sidhu *et al.*, 2019). La producción sigue aumentando, por lo que los residuos generados en las industrias han causado graves problemas. Dado que los residuos de cebolla son una materia orgánica, sus productos de valor añadido pueden utilizarse como fuente de compuestos funcionales, debido a que se prefieren productos procedentes de fuentes naturales (Sharma *et al.*, 2016).

Otras de las pérdidas que se presenta en la cadena de suministro, es mediante postcosecha, donde en los países industrializados, más del 40% de las pérdidas de alimentos se producen a nivel minorista y consumo; por el contrario, en los países en desarrollo, más del 40% de las pérdidas ocurren en las etapas de procesamiento y postcosecha (Flores-López *et al.*, 2016).

El tomate es un fruto conformado por más del 90% de agua (Pilares, 2021), lo que la convierte en un alimento perecedero, altamente susceptible al deterioro y esto implicando grandes pérdidas del producto (Godana *et al.*, 2015). A pesar de las restricciones, el tomate es uno de los productos hortícolas más

importantes de México por su valor de producción y consumo en fresco, y siendo el principal producto hortícola de exportación (Medina *et al.*, 2017).

Las pérdidas de cosecha en su etapa postcosecha comienzan desde las condiciones en los procesos de la cadena de suministro. Sin embargo, las pérdidas aumentan debido a un manejo inadecuado en la cosecha, las condiciones deficientes de almacenamiento, los que son descartados por diversas razones, así como el uso de empaques de mala calidad (Flores-López *et al.*, 2016; Godana *et al.*, 2015). Otra de las causas, es por factores climáticos desfavorables, debido a sus temperaturas inapropiadas hacen que los cambios sean más acelerados, en consecuencia afectando la calidad del alimento (Cruz-Tirado *et al.*, 2020).

La demanda de los consumidores de alimentos seguros y de alta calidad, ha dirigido a la industria agroalimentaria en la búsqueda de alternativas para preservar su calidad y prolongar su vida útil, además de satisfacer las demandas del mercado (Pedro & Ferreira, 2006).

JUSTIFICACIÓN

La cebolla es una hortaliza producida en grandes cantidades a nivel mundial, y los desechos generados por los procesos industriales representan una preocupación ambiental. El aprovechamiento de residuos agroindustriales es un método alternativo, por el cual se puede obtener un valor agregado para la obtención de diversos compuestos naturales con buenas propiedades tecnológicas (Kim *et al.*, 2017), con importantes actividades biológicas al actuar como efectos antioxidantes, antimicrobianos naturales, etc. (Salgado *et al.*, 2015).

El uso de aditivos naturales ha mostrado resultados prometedores cuando se incorporan a través de una matriz polimérica (Ncama *et al.*, 2018), que a través del proceso de migración se transfieren al producto, donde ejercen sus efectos protectores e innovadoras para los consumidores (Han & Scanlon, 2014).

Para combatir los diversos factores que ocasionan el deterioro de los alimentos, y conservar su calidad, se han adoptado diversos métodos, entre ellos el uso de recubrimientos, que se definen como productos comestibles que forman una fina capa sobre el alimento. Y se caracterizan por constituir una barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua, que retrasa el deterioro del alimento, mejoran las propiedades mecánicas, ayudan a mantener la integridad estructural del producto que envuelven y ayudan a retener los compuestos volátiles (Torrenegra *et al.*, 2021). De esta forma, los recubrimientos comestibles se considera un material con capacidad de extender la vida útil de los productos alimentarios (Olawuyi *et al.*, 2021).

Los recubrimientos comestibles se desarrollan a partir de diferentes matrices poliméricas, como son los polisacáridos, un compuesto de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de ellos (Suhag *et al.*, 2020). El desarrollo de materiales formados a partir de polisacáridos es de interés, debido a sus propiedades intrínsecas; al ser biodegradables, muy adaptables, biocompatibles, no tóxicos (Alpizar-Reyes *et al.*, 2017), respetuosos con el medio ambiente y al ser aptos al llevar compuestos antimicrobianos y antioxidantes (Salehi, 2020).

Por ello, la búsqueda de materiales naturales rentables ha despertado el interés, por el aprovechamiento de mucílagos, tal es el caso del exudado que se genera cuando las semillas de chía entran en contacto con el agua (Muñoz *et al.*, 2012b). Por lo tanto, el mucilago de chía se considera un componente adquirido de las paredes celulares de ciertas plantas o de sus diferentes partes (Olawuyi *et al.*, 2021), y se ha descrito como una fuente potencial de goma polisacárida debido a sus propiedades mucilaginosas en soluciones acuosas (Dick *et al.*, 2015; Muñoz *et al.*, 2012a).

La evaluación de la calidad de los tomates frescos se determinan en relación a su tamaño, forma, color, firmeza, sabor (Pinheiro *et al.*, 2013), su contenido de azúcar, acidez, etc., (Al-Dairi *et al.*, 2021b). Estas características se consideran esenciales para que un alimento se considere seguro para su consumo, así como la necesidad de minimizar cambios innecesarios en su calidad (Kilcast & Subramaniam, 2000).

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la aplicación de los residuos de cebolla mediante fermentación sumergida, utilizando *Aspergillus niger* para la obtención de un extracto rico en compuestos bioactivos; así como evaluar su potencial antifúngico. Para posteriormente incorporar el extracto fermentado como un aditivo en la formulación del RC, elaborado a base de mucílagos de chía-alginato de sodio, el cual es aplicado en el tomate para determinar el efecto de vida útil mediante pruebas aceleradas.

HIPÓTESIS

La aplicación de un recubrimiento adicionado con un extracto rico en compuestos bioactivos, aumentará la vida de anaquel en el fruto de tomate.

OBJETIVOS

General

Producir compuestos bioactivos por fermentación fúngica a partir de residuos de cebolla para la funcionalización de un recubrimiento postcosecha aplicados en tomate.

Específicos

- a) Optimizar condiciones para la obtención de compuestos bioactivos, empleando residuos de cebolla como sustrato.
- b) Seleccionar mejor extracto en función de su bioactividad antifúngica contra *Aspergillus niger* y *Rhizopus stolonifer*.
- c) Formular la matriz polimérica basada en Mucílago de chía-Alginato de Sodio, incorporando el extracto seleccionado, la cual será colocada en la superficie del fruto de tomate.
- d) Evaluar el efecto de la aplicación de recubrimientos funcionalizados con compuestos bioactivos de la fermentación fúngica sobre la vida postcosecha de tomate.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades

La seguridad y la calidad de los alimentos son las principales preocupaciones de los productores de alimentos y los consumidores. Por lo tanto, mantener la calidad y vida útil implica el tiempo durante el que un alimento es seguro para su consumo (Abebe *et al.*, 2017), así mismo mantiene los parámetros de color, textura, apariencia, seguridad microbiana y valor nutricional después de ser retirado de su entorno natural (Mousavi *et al.*, 2021).

Las frutas y verduras tienen un papel importante en la dieta humana, por lo tanto, la demanda de estos alimentos se ha incrementado significativamente, debido al crecimiento de la población mundial y los cambios en los hábitos alimenticios (Sagar *et al.*, 2018).

En algunos países se desperdician grandes cantidades de alimentos y esto aumenta rápidamente cada día. A nivel mundial, entre un cuarto y un tercio de los alimentos comestibles producidos para el consumo humano se consideran pérdidas o desperdicios, estas grandes producciones conllevan a grandes problemas al que se enfrentan los productores, minoristas y consumidores (FAO, 2022).

La misma naturaleza de los alimentos frescos son las principales causas de las pérdidas postcosecha durante la cadena de suministro, ya que son sumamente perecederos, respiran y viven incluso después de la cosecha (Al-Dairi *et al.*, 2021). Aquellas pérdidas son elevadas como consecuencia de una cosecha inadecuado, las condiciones de maduración, ausencia de instalaciones de almacenamiento (Godana *et al.*, 2015), la falta de tecnologías de procesamiento de manipulación, por consecuencia de atributos morfológicos, la distribución en el mercado y los que son descartados por diversas razones, conduciendo no solo a la pérdida de calidad del fruto, sino que implica grandes pérdidas postcosecha (Hussain *et al.*, 2020).

La generación de residuos alimentarios también se asocia a los derivados de los residuos vegetales, frutas, domésticos, agrícolas, las plantas de procesamiento de alimentos y los mercados, etc. (Kannah *et al.*, 2020), en la que diferentes partes de la planta quedan como porciones no consumidas, incluyendo orujos, cáscaras, semillas, bagazo, paja, raíces y hojas, etc.,

(Inamuddin & Khan, 2021). Los desechos y los residuos generados durante los procesamiento muestran impactos significativos en cuanto a pérdidas de los agricultores, las pérdidas de la industria alimentaria y ciertos problemas ambientales (Patel *et al.*, 2021).

Entonces se explica que las pérdidas se deben especialmente a las normas de calidad establecidas después de la cosecha (Inamuddin & Khan, 2021). Las enormes pérdidas de productos alimenticios son dirigidas a vertederos o se incineran sin ningún tratamiento previo adecuado antes de su eliminación. Esto representa un problema de contaminación ambiental debido a que se componen principalmente de materia orgánica (Kannah *et al.*, 2020).

Desafortunadamente, las pérdidas y desperdicios alimentarios no han sido tomados en cuenta como materiales valiosos, pero el escenario está cambiando últimamente, donde las investigaciones han centrado la búsqueda de alternativas para el aprovechamiento y recuperación de productos de valor añadido, como los compuestos bioactivos, que presentan una alternativa prometedora a partir de subproductos.

Cebolla (*Allium Cepa* L.)

La cebolla (*Allium cepa* L) es un alimento que se ha utilizado durante siglos en muchos países. Es una planta comestible del género *Allium*, cultivada en regiones templadas, tropicales y subtropicales (Fritsch & Friesen, 2002). Es una hierba perenne compuesta por raíces, hojas y tallos. Las raíces son fibrosas adventicias poco profundas (Greeshma *et al.*, 2020). Los tallos de cebolla son subterráneos y se desarrollan en bulbos. El bulbo consta de un tallo reducido y yemas axilares, rodeadas de hojas carnosas internas y escamas secas externas (piel). Las hojas son huecas, de color verde, con venas paralelas y una base carnosa, que crece del tallo subterráneo. Las formas de los bulbos pueden ser esféricas, globulares, cónicas y planas. Los colores también están disponibles en blanco, amarillo y rojo. La composición del alimento depende de la variedad, tipo de cultivo, la fase de crecimiento/madurez, condiciones ambientales, almacenamiento y las diversas partes de cebolla (Benítez *et al.*, 2011a; El Mashad *et al.*, 2019).

Producción agroindustrial

La cebolla es uno de los principales productos agrícolas del mundo, encontrándose entre las hortalizas más consumidas y su producción sigue

aumentando debido a la creciente demanda de los consumidores (Sidhu *et al.*, 2019). Al mismo tiempo, el procesamiento de las cebollas generan enormes cantidades de desechos, lo que termina causando serios problemas al medio ambiente de diversas maneras (Sharma *et al.*, 2016). Donde la producción mundial de la cebolla cada vez ha aumentado de 79.1 millones de toneladas anuales en 2010 a 104.5 millones de toneladas anuales en 2020. Entre los principales países productores son India, China y Estados Unidos (FAOSTAT, 2020).

Residuos de cebolla

La cebolla es una hortaliza que se puede consumir en su forma natural o después de ser procesada, lo que produce cantidades importantes de residuos. Alrededor del 38 % del peso fresco de las cebollas procesadas se considera no apta para el consumo y se desecha como residuo (El Mashad *et al.*, 2019). Además de que el 10 % de las cebollas cosechadas se comercializan sin valor, lo que indica que no cumplen con los estándares de calidad para su comercialización (Horiuchi *et al.*, 2004). Los residuos del procesamiento de la cebolla incluyen los bulbos dañados y no deseados (bulbos de tamaño insuficiente, malformados, dañados y enfermos), las cáscaras de cebolla, como las dos escamas carnosas externas, la parte superior e inferior de los bulbos y las raíces (Benítez *et al.*, 2011a; Sharma *et al.*, 2016) (figura 1).

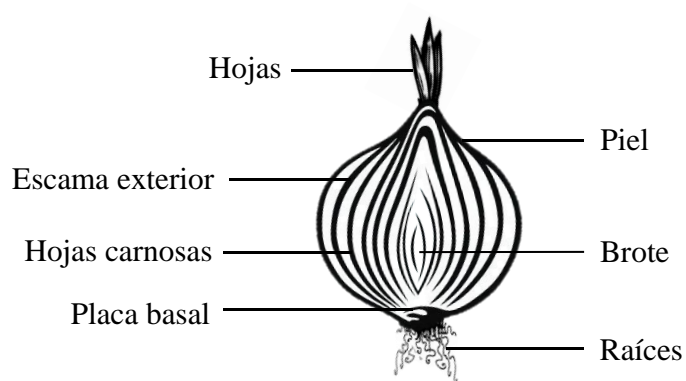


Figura 1. Diferentes partes de la cebolla (El Mashad *et al.*, 2019).

Por lo tanto, estos materiales se dirigen para su eliminación o se desechan a costos bajos. La producción de enormes cantidades de cebollas sin valor y los residuos generados, son considerados inadecuados como forrajes, debido por su fuerte olor característico, su uso como fertilizantes orgánicos provocan

impactos ambientales negativos, fitotóxicos y un rápido desarrollo de fitopatógenos (Sharma *et al.*, 2016). De igual forma, al ser un material con un alto contenido de humedad, su eliminación en vertederos implica un elevado costo económico. Por lo tanto, es necesario buscar alternativas respetuosas y rentables para la eliminación de estos materiales (El Mashad *et al.*, 2019). Los residuos de cebolla, son unos de los materiales renovables que se consideran adecuados para su valorización, convirtiéndose estos residuos en subproductos alimentarios. Asimismo, al enfrentarse a la elevada producción de residuos alimentarios, es necesario encontrar procesos y desarrollar soluciones sostenibles para recuperar moléculas valiosas, que puedan ser utilizadas como ingredientes funcionales en la industria (Celano *et al.*, 2021).

Composición de los residuos de cebolla

El valor de los residuos de cebolla como fuente de ingredientes funcionales, consiste en su composición química y sus propiedades para la salud. La composición de las cebollas puede variar, debido a las condiciones ambientales, el estado de madurez, el tiempo de almacenamiento y otros factores (Jaime *et al.*, 2002). En general, se han identificado varios compuestos en el material, como proteínas, lípidos, fibra dietética (Ko *et al.*, 2011), vitaminas, minerales (Sami *et al.*, 2021), y diversas fuentes de fitoquímicos como fructooligosacáridos (Sagar *et al.*, 2020), los compuestos organosulfurados (Abouzed *et al.*, 2018) como los flavonoles – quercetina y glucósidos de quercetina (Vojvodić *et al.*, 2020). Un ejemplo de esto se presenta en el cuadro 1, donde investigaciones muestran la composición de las partes externas desechadas de la cebolla.

Cuadro 1. Composición de diferentes partes de los residuos de cebolla.

Parámetros	Valor
Cenizas totales (g/100 g dw)	5.88±0.21
Lípido (g/100 g dw)	1.34±0.01
Proteína bruta (g/100 g dw)	8.50±0.04
Fibras totales (g/100 g dw)	69.73±0.21
Azúcares totales (g/L)	40.0±0.01
Azúcares reductores (g/L)	53 ± 1.7
Fenoles totales (mg GAE/g dw)	15.1 ± 0.2
Flavonoides totales (mg QE/g dw)	20.44±1.22
Actividad antioxidante (mM TE/g dw)	490.54±9.43

Fuente: (Prokopov *et al.*, 2018; Sidhu *et al.*, 2019; Saidi *et al.*, 2020)

Los residuos de cebolla, obtenidos de la parte superior e inferior son la mezcla de la sección interna, externa y de la piel, por lo que forman un alto contenido de fibra dietética total (Benítez *et al.*, 2011a), al ser una excelente fuente de carbohidratos, los carbohidratos no estructurales constituyen la mayor parte de la materia seca, hasta un 65%, a saber, la glucosa, sacarosa, fructosa y los fructooligosacáridos (FOS) (Griffiths *et al.*, 2002). Estos componentes funcionales contribuyen al valor nutricional y calórico. En cambio, para los FOS, forman parte de la fibra dietética y pertenecen al subgrupo de los fructanos, un polímero con menor grado de polimerización (Vojvodić *et al.*, 2020).

Otro carbohidrato que se encuentra en las cebollas son los polisacáridos de la pared celular, que representa el 21 % y el 27 % del ácido urónico (ácido galacturónico) y la glucosa, respectivamente, en base a materia seca, lo que se asocia con la presencia de la celulosa y pectina (Vojvodić *et al.*, 2016; 2020). Un mayor contenido de fibra insoluble se relaciona con un mayor contenido de lignina en las partes externas del bulbo (Jaime *et al.*, 2002). Considerando a la celulosa el polisacárido dominante en los residuos de cebolla, y se estima que su valor muestra potencial para la fermentación y bioconversión (Choi *et al.*, 2015).

Los compuestos organosulfúricos de la cebolla son los portadores de su característico aroma y sabor, que se derivan de compuestos precursores no volátiles de sulfóxidos de S-alk(en)yl-L- cisteína (ACSO), comúnmente conocidos como aliina. Los ACSO más sobresalientes de la cebolla son la metiina, la propiina y la isoaliina, esta última predomina y representa el 80% de los ACSO de la cebolla, por lo que es la responsable del efecto lacrimógeno (Griffiths *et al.*, 2002; Rose *et al.*, 2005). En los tejidos intactos de la cebolla, el ACSO está presente en el citoplasma, mientras que la enzima aliinasa se encuentra en la vacuola (Vojvodić *et al.*, 2020). El ACSO y la enzima entran en contacto tras la ruptura celular a través de cortes (Lee *et al.*, 2015), así generando ácidos sulfénicos; además, a menudo reaccionan entre sí y con otras sustancias para convertirse en diferentes compuestos volátiles organosulfúricos, como los tiosulfatos, ácido pirúvico y amoníaco (Lee *et al.*, 2015; Vojvodić *et al.*, 2020). Además, Rose *et al.*, 2005 demostraron gran importancia a los compuestos organosulfúricos de la cebolla, al proporcionar efectos beneficiosos en la salud. Asimismo, de actuar como inhibidores de la polifenoloxidasas por parte de los compuestos de bajo peso molecular, lo que ofrece la posibilidad de ser utilizado el extracto como conservador y antioscurecimiento en la industria alimentaria (Sharma *et al.*, 2016).

Los compuestos polifenólicos son conocidos por su fuerte efecto antioxidante, siendo estos compuestos predominantes en la cebolla (Rose *et al.*, 2005). Se representan por subgrupos de flavonoides: los flavonoles, como la quercetina y sus derivados, encontrados en las variedades amarillas y marrones, y las antocianinas, característicos en las variedades rojos/púrpuras (Downes *et al.*, 2009). Los principales flavonoles son la quercetina y los glucósidos de quercetina, de los cuales predominan la quercetina -4'-glucósido (monoglucósido) y la quercetina-3,4'-diglucósido (diglucósido) en la cebolla fresca (Roldán-Marín *et al.*, 2009), que representan hasta el 80 % de los flavonoides totales de la cebolla (Benítez *et al.*, 2012). Encontrándose una mayor concentración de monoglucósido hacia las escamas exteriores (Benítez *et al.*, 2011a) y un mayor contenido de diglucósidos de quercetina en las escamas interiores (Slimestad *et al.*, 2007). En general, el contenido de quercetina aglicona aumenta hacia las escamas exteriores, mientras que los glucósidos de quercetina disminuyen en la misma parte (Vojvodić *et al.*, 2020).

Las propiedades antifúngicas del material, se deben a la posterior oxidación de la quercetina por parte de las enzimas, lo que permite la formación del ácido protocatehúico (Takahama & Hirota, 2000).

Slimestad *et al.*, 2007, informan que las cortezas externas secas contienen de 2,5 a 6,5 % en peso de flavonoles, siendo el 67 a 86 % de quercetina aglicona y niveles más bajos de quercetina-4'-glucósido. Otros derivados de la quercetina, a saber, quercetina-3-glucósido (isoquercetina) y quercetina-7,4'-diglucósido, también se encuentran en algunas variedades de cebolla, pero en proporciones más bajas (Vojvodić *et al.*, 2020). Los derivados del kaempferol, la isorhamnetina y la miricetina son otros flavonoles en niveles muy bajos (Slimestad *et al.*, 2007).

Además, la utilización de la cebolla ha sido asociado con una serie de actividades biológicas, que incluyen propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antiinflamatorias, antidiabéticas, antihistamínicas, actúan como antimicrobianos, antiobesidad, neuroprotectores y prevención de enfermedades cardiovasculares, entre otras (Wang *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2021). En el cuadro 2 se muestra los posibles usos de los desechos de cebolla y las diferentes aplicaciones. Lo que abre la posibilidad de su aplicación como fuente de ingredientes alimentarios funcionales.

Cuadro 2. Diversas aplicaciones de los residuos de cebolla y su posible uso alimentario.

Residuos de cebolla	Producto final	Beneficios funcionales/tecnológicos	Referencias
Cáscara de cebolla	Fermentación de la cáscara de cebolla	Alimento funcional a base de cáscara de cebolla fermentada rico en flavonoides y prebióticos.	Kimoto-Nira <i>et al.</i> , 2019
Extracto de piel de cebolla seca	Textiles biofuncionales coloreados	Producción de hilos de lana coloreados y biofuncionales, mediante procedimientos de teñido.	Pucciarini <i>et al.</i> , 2019
Escamas exteriores de cebolla	Ingredientes funcionales	Alimento funcional rico en flavonoles, con buena actividad antioxidante y contenido de fibra dietética.	Benítez <i>et al.</i> , 2011 ^a
Cáscara de cebolla	Películas nanocompuestos bio-	Aislamiento de Nanocristales de celulosa a partir de la piel de cebolla y su utilización como película bio-nanocompuesto.	Rhim <i>et al.</i> , 2014
Cáscara de cebolla roja	Microencapsulación de compuestos biológicos	Microencapsulado de polifenoles de las cáscaras de cebolla roja y su evaluación de calidad en pastel.	Elsebaie & Essa, 2018

Fermentación

Los desechos de cebolla son materias orgánicas que han mostrado resultados favorables como fuente de ingredientes funcionales. Su uso mediante bioconversiones, se considera una alternativa viable para la producción de metabolitos de interés (Kannah *et al.*, 2020). Los procesos biológicos son uno de los métodos de bioconversión, que consisten en transformar los residuos orgánicos en productos valiosos, centrándose en recursos sostenibles generados por diversos sectores alimentarios. Al reemplazar los métodos químicos convencionales, esta estrategia es una opción favorable y ecológica (Inamuddin & Khan, 2021)

La fermentación, es el proceso mediante el cual los microorganismos producen metabolitos o biomasa a partir de la utilización de sustancias orgánicas. Para ello, la descomposición del sustrato se lleva a cabo mediante enzimas producidas por los microorganismos, en las que se hidroliza el sustrato orgánico, ya sea en presencia o ausencia de oxígeno (Hernandez *et al.*, 2003). La extracción y recuperación de compuestos fenólicos por fermentación sumergida es un proceso que utiliza materiales solubles en agua, que son necesarios para el crecimiento microbiano, asimismo la cantidad de agua debe ser alta y el medio seleccionado debe ser económico, fácilmente disponible y tener el equilibrio adecuado de nutrientes (Kumar *et al.*, 2014). Los procesos de fermentación sumergida se han convertido en el método de elección, debido a la facilidad de manejo, donde se pueden controlar muchos factores del proceso (como el pH, una mejor transferencia de calor y oxígeno) y el producto final es más fácil de recuperar. Este tipo de fermentación tiene la ventaja de mantener una mayor homogeneidad del cultivo, lo que lo hace más confiable y reproducible, más fácil de monitorear y medir directamente la biomasa (Fazenda *et al.*, 2008).

La principal función del fermentador, es mantener el medio de cultivo y los microorganismos en condiciones adecuadas, para una mayor producción del compuesto de interés, además, es un método adaptable a diferentes procesos, tienen un diseño mecánico simple, permite mantener las condiciones de asepsia durante el proceso y de bajo consumo de energía (Hernandez *et al.*, 2003).

Tomate (*Solanum Lycopersicum* L.)

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se clasifica botánicamente como una fruta. Es un cultivo de estación cálida, perteneciente a la familia de las solanáceas y originario de las regiones elevadas de Perú, Ecuador y partes del centro de México (Godana *et al.*, 2015). Esta planta es perenne y de hábito arbustivo, según la variedad crece de forma rastrera, semirrecta o erecta. Las semillas del tomate se conforman por el embrión, el endospermo y la testa, la cual está recubierta de pelos. Son de tamaños pequeños, con dimensiones variables de 5 x 4 x 2 mm, y se pueden clasificar según su forma globular, ovalada, achatada, casi redonda, plana, etc., (Jaramillo *et al.*, 2007). Posee un sistema radicular superficial, con una raíz principal en la que se producirán muchas raíces secundarias y adventicias (Gorini, 2018). En el interior de la raíz se encuentra una epidermis compuesta por pelos que se dedican a absorber agua y nutrientes esenciales, mientras que la corteza y los cilindros vasculares cumplen la función de transportar los nutrientes para el cultivo (Salguero, 2016). Los tallos del tomate son herbáceos, en la primera etapa del cultivo tiene un desarrollo recto y cilíndrico, después cambia a forma decumbente y angular. El tamaño del cultivo está determinado por sus características genéticas, donde ciertas plantas pueden medir de 30 a 40 cm, y otras pueden llegar hasta 4 m de alto (Villalobos *et al.*, 2009). Las flores se producen en forma de racimos simples y ramificados, desarrollándose en el tallo y en las ramas opuestas de las hojas, que pueden tener de 4 a 20 flores en cada inflorescencia, dependiendo de la variedad y las condiciones del cultivo. Las inflorescencias aparecen en el eje principal, justo en la yema del ápice. La estructura de la flor se caracteriza por tener pedúnculos cortos con cálices gamosépalos y corolas gamopétalos, tiene un pistilo conformado por estambres y unidos a las anteras en forma tubular. El gineceo se constituye por un pistilo, que se compone de un ovario y de un estilo largo, que sirve de conexión para producir la autofecundación y generalmente las flores son amarillas y pequeñas (Jaramillo *et al.*, 2007). El fruto del tomate es una baya carnosa, que varía en forma (redondo, ovalado o acostillado) (Gorini, 2018), tamaño y color, que van desde el verde en estado inmaduro hasta el rojo en su etapa madura, según la manifestación de caroteno y/o licopeno (López, 2016). Además, en proporciones menores, se conforman por una mezcla

compleja de ácidos orgánicos y azúcares que le dan sabor y textura al fruto (Saavedra *et al.*, 2019). De igual forma, el fruto está unido a la planta a través del pedicelo, y su estructura está compuesta por pericarpio, tejido placentario y semillas (López, 2016), y su estado de maduración llega después de los 45-60 días (Gorini, 2018).



Figura 2. Tomate Saladette (*Solanum lycopersicum* L.) (Latamseeds, 2023).

El tomate es uno de los cultivos hortícolas más consumidos, ya sea en su forma natural o tras su procesamiento. El tomate fresco es una hortaliza que contribuye significativamente a la dieta humana, al ser una excelente fuente de compuestos bioactivos, como carotenoides (β -caroteno y licopeno), ácido ascórbico, tocoferoles y compuestos fenólicos (ácidos fenólicos y flavonoides) (Pinheiro *et al.*, 2013) (figura 2).

Producción del tomate

El cultivo de tomate es una hortaliza de gran importancia económica, la cual presenta una demanda en aumento por su consumo en fresco. Los principales países productores de tomate son: China, Estados Unidos, India, Turquía y Egipto. China es el productor y consumidor más importante de tomates, mientras que Estados Unidos es el principal importador y México es el principal exportador, ocupando el décimo lugar como productor a nivel mundial y el primer lugar entre las hortalizas (FAOSTAT, 2020), siendo los principales estados productores Sinaloa, San Luis Potosí y Michoacán (SIAP, 2021).

Problemas en postcosecha del tomate

La postcosecha se define como el periodo en que las frutas y hortalizas tienen un periodo de tiempo, a partir del momento en que el producto es retirado o cosechado de su fuente natural y finaliza cuando se han realizado una serie

de operaciones como la recolección, almacenamiento, manipulación, envasado, transporte, comercialización y consumo.

Debido a los problemas de postcosecha, las pérdidas de tomate son altas y actualmente pueden alcanzar hasta el 50% de la producción total (Addo *et al.*, 2015). El tomate es un fruto climatérico y se caracteriza por su rápida maduración y ser altamente perecedero, debido a su rápido deterioro poco después de la cosecha, lo que causa una vida útil muy corta y la rápida pérdida de cualidades (Baninaiem *et al.*, 2016). Las principales razones de las pérdidas postcosecha se deben a varios factores bióticos y abióticos, así mismo por enfermedades fúngicas, durante la cadena de suministro postcosecha (Nizamani *et al.*, 2021). Al ser un producto fresco, son susceptibles al deterioro y esto va en aumento, debido a una serie de actividades que tienen lugar en el proceso, como la cosecha inadecuada, las condiciones de maduración, las instalaciones de almacenamientos insuficientes que conducen una producción excesiva durante el periodo de máxima cosecha (Godana *et al.*, 2015). Sin embargo, las pérdidas son elevadas cuando el producto sufre daños mecánicos (Pathare & Al-Dairi, 2021), cuando los servicios de transporte son deficientes, la mala manipulación (Sibomana *et al.*, 2016), los empaques insuficientes y la temperatura (Pila *et al.*, 2010), son factores que contribuyen al desarrollo del deterioro postcosecha y afectando la calidad del fruto (Cui *et al.*, 2018). Por lo que conlleva un incremento de pérdidas, un problema económico y de seguridad alimentaria (Li *et al.*, 2017).

Agentes patógenos en postcosecha

Durante el desarrollo de la cadena agroalimentaria, los productos hortofrutícolas se ven afectadas por la incidencia de enfermedades causadas principalmente por hongos en la etapa de postcosecha (Ramos *et al.*, 2010). En algunos casos, los hongos permanecen latentes durante largos periodos o se adquieren durante la cosecha, el transporte y en la manipulación del producto. Algunos microorganismos causantes de podredumbre es *Rhizopus stolonifer*, que emergen después de la cosecha y causan grandes pérdidas (Hahn, 2002). Este hongo es uno de los causantes de enfermedades en los cultivos de tomate, afectando la calidad del producto (Jasso de Rodríguez *et al.*, 2017).

Temperatura

La temperatura es una de las causas que afecta directamente la tasa de deterioro de cualquier alimento fresco almacenado, lo que repercute en la calidad (Arah *et al.*, 2015). Preservar estos productos a temperaturas más bajas, reduce la actividad metabólica (Atanda *et al.*, 2011), además de causar daños por enfriamiento (Mandal *et al.*, 2018). Por el contrario, el almacenamiento a temperaturas elevadas, es responsable del aumento de la respiración, transpiración y la producción de etileno (Al-Dairi *et al.*, 2021a). En general, una temperatura inadecuada de almacenamiento, aumentan la pérdida de cualquier producto fresco. En cambio, un control adecuado de temperatura es la forma más apropiada de mantener la calidad de los productos frescos a lo largo de la cadena de suministro (Arah *et al.*, 2016).

Calidad del producto

Una cosecha adecuada del fruto, determina el contenido de nutrientes, así como mayor duración en el almacenamiento. Así mismo, la región donde se produce, la distancia del mercado y la finalidad de su uso, determinan el grado de madurez, comenzando desde la etapa verde madura hasta llegar a su madurez completo, siendo esta etapa otro factor que influye en las preferencias del consumidor (Abebe *et al.*, 2017).

La calidad de los tomates se determina por su aspecto (forma, tamaño y color), su sabor, firmeza y valor nutritivo. Una de las principales características que determinan el grado de aceptación por parte de los consumidores, es el color, en el que sus distintas fases de desarrollo sufren cambios. Los cambios más notables se relacionan a la pérdida de la tonalidad verde (clorofila), que poco a poco sufre un cambio de color naranja (β -caroteno) y progresivamente la acumulación del color rojo (licopeno) (Pinheiro *et al.*, 2013) conforme avanza el proceso de maduración, siendo el licopeno, el carotenoide que representa hasta el 98% del tomate (Tadesse *et al.*, 2015). Otro atributo de calidad del tomate fresco, es el sabor, que resulta frecuentemente de una combinación de ácidos y azúcares, y para el aroma se atribuye a los compuestos volátiles (Messina *et al.*, 2012). La firmeza es un índice de calidad final que el consumidor toma en cuenta al adquirir el producto (Batu, 1998), donde el principal problema se asocia con el ablandamiento del tejido, y que suele involucrar los mecanismos de pérdida de peso con pérdida de turgencia, o

efecto de la actividad enzimática (Pinheiro *et al.*, 2013). La deshidratación es otro factor en relación a las pérdidas de peso que se ven reflejados en su periodo pre y postcosecha, al igual que el tiempo de cosecha y la temperatura de almacenamiento (Alia-Tejacal *et al.*, 2007); sin embargo, cuando la pérdida de peso es demasiada, el tejido del fruto se vuelve opaco y muy blando. Este parámetro es el principal factor a tomar en cuenta para definir la calidad del tomate (Pinheiro *et al.*, 2013). La maduración es un proceso complejo de desarrollo del fruto, que puede definirse como el resultado de cambios bioquímicos y fisiológicos que conducen al estado de maduración, culminando en cambios drásticos de color, textura y sabor (Javanmardi & Kubota, 2006).

Recubrimientos comestibles

Últimamente la preocupación de la salud de los consumidores, los problemas medioambientales y la no degradación de los materiales sintéticos, han dirigido los intereses a la utilización de recursos biodegradables y comestibles para el desarrollo de envases alimentarios (Beikzadeh *et al.*, 2020). Los métodos de conservación inteligente se han puesto en marcha para reducir el deterioro de los alimentos y prolongar su vida útil. Por ello la selección de los recubrimientos comestibles pueden ser una alternativa sostenible, barato y de fácil aplicación (Olawuyi *et al.*, 2021).

Selección y aplicación del recubrimiento comestible

Los recubrimientos pueden desarrollarse a partir de biopolímeros comestibles, como son las proteínas, lípidos, polisacáridos, los plastificantes, aditivos o por una mezcla de ellos (Cardona & Fernández, 2020). El desarrollo de materiales basados en polisacáridos (como los derivados de la celulosa, almidones, pectinas, quitosanos (Salgado *et al.*, 2015), los alginatos, las gomas, mucílagos, etc.) como son los recubrimientos comestibles (Muñoz *et al.*, 2012a), han ganado popularidad, debido a sus diversas propiedades intrínsecas; como la no toxicidad, la biocompatibilidad, su biodegradabilidad y la adaptabilidad (Alpizar-Reyes *et al.*, 2017).

Las tecnologías de envasado, han desarrollado diversos métodos de aplicación en forma de recubrimientos, en el que son formados directamente sobre la superficie del alimento, ya sea por inmersión o aspersion, mientras que las películas son previamente formadas para cubrir el producto (figura 3) (Ortiz *et al.*, 2014). La aplicación del recubrimiento es seguida por una etapa

de secado o enfriamiento (Gontard *et al.*, 1994). El método utilizado debe determinarse en función de las características de la superficie de contacto y con el fin de seleccionar el mejor recubrimiento (Salgado *et al.*, 2015).

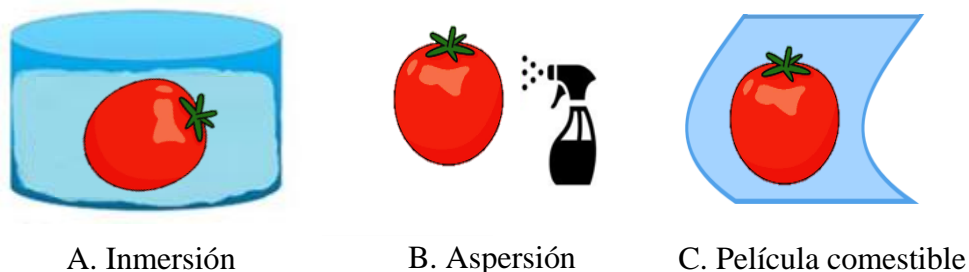


Figura 3. Métodos de aplicación de recubrimientos y películas comestibles (imagen propia).

Propiedades funcionales del recubrimiento comestible

El recubrimiento comestible está formado por una capa delgada sobre la superficie del alimento. Su función es proporcionar una barrera semipermeable, que mitiga la transferencia de humedad/aroma, el intercambio de gases (como el oxígeno, el dióxido de carbono y el etileno) (Beikzadeh *et al.*, 2020) e impide los procesos metabólicos asociados con el deterioro y la descomposición de los alimentos; en consecuencia, podrían extender la vida útil de los productos alimentarios (Saha *et al.*, 2017). Además, proporcionan cierta protección a daños mecánicos (Tabaestani *et al.*, 2013), inhiben la deshidratación, el oscurecimiento, así como la protección a oxidación (Beikzadeh *et al.*, 2020), reducción a la contaminación y proliferación microbiana, así mismo, son excelentes portadores de componentes activos (antioxidantes, nutraceuticos, antimicrobianos, etc.) (Valencia-Chamorro *et al.*, 2011; Martinez-Avila *et al.*, 2014).

Diversos estudios, han mostrado resultados prometedores en la aplicación de este material en productos alimenticios, resultando en la mejora de diferentes propiedades, la extensión de la vida útil y reducción de la incidencia de patógenos (Sánchez-Ortega *et al.*, 2014).

Chía (*Salvia hispánica* L.)

Salvia hispánica L., también conocido como chía, es una planta herbácea anual de la familia de las lamiáceas. Es originaria del norte de Guatemala y el sur de México (Hrnčič *et al.*, 2020). Hoy en día la *S. hispánica* se cultiva en

casi todo el mundo, incluyendo América Central y del Norte (Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá y EE. UU.), América del Sur (Argentina, Bolivia, Brasil, Ecuador, Colombia, Paraguay y Perú), Europa y Australia (Motyka *et al.*, 2022). Reconociendo a México como el mayor productor mundial de semillas de chía (Grancieri *et al.*, 2019).

Salvia hispánica L. se cultiva principalmente por sus semillas. La planta puede alcanzar hasta 1 m de altura. Sus hojas son alargadas y dentadas, que miden de 3 a 5 cm de ancho y de 4 a 8 cm de largo. Las flores son bisexuales, de color blanco o morado, dispuestas en verticilos y con estructura labial típica, un tamaño que varía de 3 a 4 mm, dando lugar a frutos indehiscentes (Motyka *et al.*, 2022; Xingú *et al.*, 2017). Las semillas de chía son pequeños, de forma ovalada, con una longitud de 2 mm, un diámetro de 1 a 1.5 mm y un grosor menor a 1 mm (Hrnčič *et al.*, 2020). Presentan una superficie lisa y brillante, con una tonalidad que varía de negro, marrón, gris, con manchas negras o blancas (Grancieri *et al.*, 2019) (figura 4).



Figura 4. *Salvia hispánica* L. A) Cultivo, B) Flor y C) Semilla (MEFCCA, 2023).

Composición de la semilla de chía

Las semillas de chía se han convertido en uno de los alimentos más populares del mundo en función a su valor y propiedades nutricionales, siendo un excelente compuesto a su alto contenido de lípidos totales, como ácido linolénico (omega 3) y ácido linoleico (omega-6) (Ali *et al.*, 2012) (alrededor del 30% del peso total de la semilla), con 16% de proteínas de alto valor biológico, 42% de carbohidratos, otro componente importante en la dieta humana es la fibra dietética, con un 34 % (Silva *et al.*, 2021), además de sus micronutrientes, como vitaminas, minerales y antioxidantes naturales (destacando la quercetina, el kaempferol, el ácido clorogénico, cafeico, rosmarínico, gálico, cinámico y miricetina) (Hrnčič *et al.*, 2020). Sin embargo,

estudios demuestran que diversos factores como son las condiciones ambientales, la ubicación geográfica, el tipo de suelo y el año de cultivo, pueden influir en la concentración y disponibilidad de los nutrientes (Ayerza, 2009). Por su composición y su alto valor nutricional de la semilla de chía, autores lo atribuyen como un excelente alimento, al reducir el riesgo de enfermedades crónicas, como la obesidad, la diabetes, su efecto antihipertensivo, anticancerígenos, además de ofrecer protección contra algunos trastornos neurodegenerativos (enfermedad del Alzheimer y de Parkinson) (Grancieri *et al.*, 2019).

Mucílago de chía

Los mucílagos son componentes fisiológicos naturales, obtenidos a partir de las paredes celulares de varias plantas o de sus diferentes partes (incluyendo frutos, semillas, hojas, tallos, cortezas y raíces) (Kamel *et al.*, 2020). Algunas semillas específicas son capaces de producir mucílagos, con diferentes propiedades tecnofuncionales para su aplicación en diversos productos alimentarios (Beikzadeh *et al.*, 2020).

Autores describen al mucílago de chía como una fuente potencial de goma polisacárida, debido a sus propiedades mucilaginosas en soluciones acuosas, incluso a bajas concentraciones. Las semillas de chía contienen alrededor del 5-6% de mucílago, que es una fibra dietética soluble con gran capacidad de retención de agua, alcanzando una absorción de hasta 27 veces de su propio peso (Dick *et al.*, 2015). La semilla de chía, al ponerse en contacto con el agua presenta una capacidad de retención, formando así mucílagos que la rodean (Muñoz *et al.*, 2012b). El mucílago está presente en el interior de las células epidérmicas de la semilla madura, que al entrar en contacto con el agua exudan un gel mucilaginoso transparente, que permanece unido a la capa de la semilla, de esta forma rompiendo la capa celular primaria que sobresalen de estas células epidérmicas, lo que hacen aumentar su tamaño e imparte un aspecto de gel característico a la chía (Grancieri *et al.*, 2019; Muñoz *et al.*, 2012b) (figura 5).

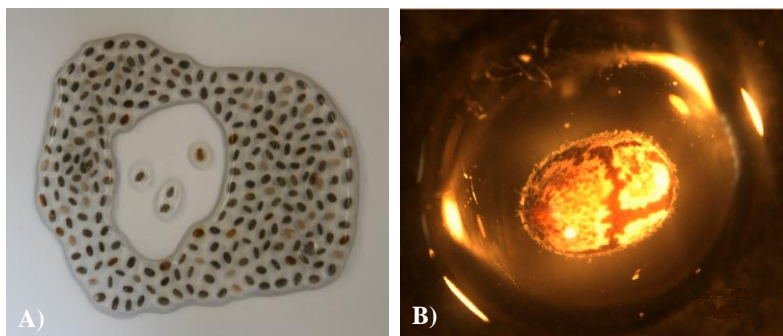


Figura 5. Semilla de chía A) Hidratado y B) Formación de gel mucilaginoso (Muñoz *et al.*, 2012b).

Composición del mucílago de chía

El mucílago es un tipo de polímero hidrofílico, compuesto principalmente por polisacáridos solubles en agua de alto peso molecular ($0,8\text{--}2 \times 10^6$ Da) (Lin *et al.*, 1994). La arabinosa, galactosa, xilosa, glucosa, ácido glucurónico, ácido galacturónico, etc., son algunos de los monosacáridos que componen el mucílago de la semilla de chía (Tosif *et al.*, 2021), que junto con enlaces glucosídicos forman configuraciones de cadenas estructurales muy diversificadas (Olawuyi *et al.*, 2021). En general, los autores presentan la estructura del polisacárido como un tetrasacárido lineal con la secuencia de residuos. De tal manera, conformado en la cadena principal por el ácido aldobiourónico: dos residuos de D-xilopiranosil, y uno de D-glucopiranosil y ramas laterales de ácido 4-O-metil-D-glucopiranosilurónico (Goh *et al.*, 2016; Lin *et al.*, 1994).

Debido a sus propiedades hidrocoloides del mucílago, son ampliamente utilizados en las industrias como ingredientes activos para el desarrollo de productos farmacéuticos, nutraceuticos y funcionales (Ameri *et al.*, 2015). Sus aplicaciones en los alimentos (incluidos los agentes gelificantes, espesantes, emulsionantes, potenciadores de textura) (Zeng & Lai, 2016) y la formulación de recubrimientos comestibles son trabajos prometedores que muestran que el material es adecuado para mayor protección de los alimentos (Basumatary *et al.*, 2020).

Propiedades funcionales de compuestos bioactivos y su aplicación en recubrimientos comestibles

La aplicación de recubrimientos comestibles formados a partir de mucílagos naturales es principalmente por ser respetuosos con el medio ambiente, son

biocompatibles, reducen la tasa de respiración, retrasan la maduración, es una excelente barrera a la transferencia de masa, además son aptos al portar aditivos como antioxidante, compuestos antimicrobianos, etc., para reducir el deterioro y prolongar la vida útil de los productos alimentarios (Salehi, 2020). En el cuadro 3 muestra el efecto de algunos recubrimientos comestibles en los alimentos y la incorporación de algunos compuestos.

Cuadro 3. Estudios sobre el efecto de la aplicación de recubrimientos comestibles en los alimentos.

Base del recubrimiento	Otros compuestos	Tipo de alimento	Resultados	Referencias
Mucilago de chíá	Nanofibra de celulosa bacteriana	Fresas	Mejor conservación de compuestos bioactivos y mejor control de la actividad enzimática antioxidante en fresas.	Mousavi <i>et al.</i> , 2021
Goma arábica	Aceite esencial de canela	Guayaba	Preservación de la calidad postcosecha e inhibición de la carga microbiana de la guayaba.	Murmu & Mishra, 2018
Metilcelulosa y cera de abeja	Propiedad antifúngica	Tomate Cherry	Prolongación de la calidad postcosecha al reducir el desarrollo del moho gris.	Fagundes <i>et al.</i> , 2014
Alginato de sodio	Aceite esencial de lemongrass	Piña	Mayor calidad y vida útil de la piña recién cortada.	Azarakhsh <i>et al.</i> , 2014
Chitosán y pectina	Microencapsulado de β -ciclodextrina y trans-cinamaldehído	Papaya	Mayor firmeza, mantiene el color, alto contenido de β -caroteno, menos fuga del jugo y más aceptación sensorial.	Brasil <i>et al.</i> , 2012
Mucilago de la semilla <i>Plantago major</i>	Aceite esencial de <i>Anethum graveolens</i>	Carne	Inhibición del crecimiento de bacteriano/ fúngico y extensión de la vida útil poco más de 3 días.	Behbahani <i>et al.</i> , 2017

En el campo del envasado, estos mucílagos pueden aplicarse en recubrimientos y utilizarse para mejorar la seguridad, diversas propiedades e interactuar positivamente con los productos y el entorno, prolongando la vida útil de los alimentos y mantener su calidad. La función principal del actividad del envase, es la interacción entre las propiedades intrínsecas del polímero y del compuesto bioactivo, contenidos en el sistema de envasado (Salgado *et al.*, 2015). La incorporación de compuestos bioactivos destaca las cualidades del recubrimiento comestible, ya que a través del proceso de migración se transfieren al producto y se retenga en ella, donde ejercen un

efecto protector (Beikzadeh *et al.*, 2020). Este fenómeno de migración se influencia por las características del producto a recubrir (actividad acuosa, pH), las propiedades hidrofílicas del recubrimiento, las condiciones de temperatura y almacenamiento (Ozdemir & Floros, 2008). De la misma manera, las propiedades de los compuestos bioactivos pueden ser diversos, encontrando a los ácidos orgánicos, enzimas, bacteriocinas, fungicidas, extractos naturales, etanol, polifenoles, hidrolizados de proteínas y entre otros (Salgado *et al.*, 2015). Cada vez, la utilización de aditivos naturales sustituye a los de origen sintético, asociados a los riesgos en la salud. Por la composición de los residuos o subproductos agroindustriales, son adecuados al proporcionar fuentes prácticas y económicas de sustancias activas, como son los aceites esenciales, péptidos, polifenoles, antocianinas, pigmentos, etc., (Balasundram *et al.*, 2006; Sanches-Silva *et al.*, 2014), con importantes actividades biológicas, al actuar con efectos antioxidantes, antimicrobianos naturales, etc., (Han & Scanlon, 2014). La incorporación de aditivos naturales en los envases comestibles muestra perspectivas prometedoras, al otorgarle propiedades bioactivas que pueden ser atractivas e innovadoras para el consumidor.

Cinética del deterioro en alimentos

Un alimento se define como un sistema físico, químico y biológico que no puede permanecer inerte, dado los procesos y condiciones ambientales a las que está expuesto. Estos factores conducen al deterioro de la calidad de los alimentos con el tiempo (Garcia & Molina, 2008). La vida útil de los alimentos se determina monitoreando los cambios en la calidad del producto, donde las variables de interés durante el almacenamiento y procesamiento de alimentos se muestran en el cuadro 4 (Damodaran *et al.*, 2007).

Conocer la vida útil requiere un conocimiento previo de las reacciones químicas y biológicas que provocan cambios indeseables en el alimento. Además, es necesario comprender la formulación y su proceso al que fue sometido para identificar las causas que contribuyen a altas pérdidas de calidad (Garcia & Molina, 2008).

La pérdida temprana de la vida útil de los alimentos es un problema importante para la industria, porque reduce la confianza de los consumidores y afecta la economía de la industria. Las pruebas de vida de anaquel son cruciales para

las industrias procesadoras de alimentos porque permiten reducir la pérdida de calidad antes del tiempo previsto durante los procesos de fabricación, almacenamiento y envasado del producto (Fu & Labuza, 1993).

Cuadro 4. Factores importantes en la estabilidad de los alimentos durante el procesamiento y almacenamiento.

Factores alimentarios	Propiedades químicas, contenido de oxígeno, pH, actividad del agua, contenido de agua en el producto y temperatura de transición vítrea.
Factores ambientales	Tiempo (t), temperatura (T), composición de la atmósfera, tratamientos químicos, contaminación, exposición a la luz y abuso físico.

Fuente: (Damodaran *et al.*, 2007)

Pruebas para predecir la vida útil

Es posible utilizar una variedad de técnicas, desde las más básicas hasta las más complejas, para evaluar la vida útil de los productos alimenticios. Es necesario utilizar métodos que tengan en cuenta los valores reales para determinar de forma fiable la vida útil de un producto.

Prueba acelerada

La vida útil de los alimentos se definen por los cambios en su diferentes parámetros de calidad, indicando el tiempo en que un producto es inaceptable para el consumidor (Cruz-Tirado *et al.*, 2020; Reid *et al.*, 2003), el cual, el alimento conserva un nivel permisible de calidad bajo condiciones definidas de almacenamiento (Nicoli, 2012). Al adquirir métodos de predicción para la vida útil del alimento resulta importante, para que los distribuidores y consumidores determinen el tiempo adecuado de almacenamiento y consumo (Al-Dairi *et al.*, 2021b).

La prueba de vida útil acelerada es un método para determinar la vida útil de un producto alimenticio, que consiste, en recopilar datos relacionados con los parámetros de calidad en diferentes condiciones de almacenamiento a diferentes tiempos, y que al cambiar las condiciones pueden acelerar el proceso de deterioro (Cruz-Tirado *et al.*, 2020). Se requiere cierto grado de precaución al investigar la vida de anaquel mediante pruebas aceleradas. Es necesario registrar y controlar las variables observables para garantizar que las variables no específicas no influyan en la evaluación. Además, para obtener resultados confiables, el método de cuantificación debe ser rápido, el diseño experimental y el número de replicas analíticas en las que se

analizarán los resultados deben planificarse cuidadosamente. Al realizar un estudio de vida útil, todo esto debe tenerse en cuenta para obtener una evaluación adecuada y resultados más precisos (Valentas *et al.*, 1997).

La aplicación de métodos acelerados permiten la estimación de curvas de velocidad de reacción y la determinación del orden de reacción, para convertir los datos obtenidos de las pruebas aceleradas a condiciones normales de mercado (Pedro & Ferreira, 2006). Una herramienta importante para predecir y controlar los cambios en los atributos de calidad de los productos frescos son por modelos cinéticos, que generalmente son formas sistemáticas de definir el proceso de degradación (Remini *et al.*, 2015).

Garantizar una vida útil y controlar la calidad de los productos frescos significa controlar los cambios en las propiedades físicas, químicas y otros atributos a lo largo de la cadena de suministro. Por lo tanto, se requieren reacciones de interés para determinar los cambios de calidad en función del tiempo de almacenamiento (Pinheiro *et al.*, 2013).

Los conocimientos en ingeniería, química, microbiología, ciencia de polímeros y regulaciones alimentarias son necesarios para determinar la vida útil de los alimentos mediante pruebas aceleradas. Este tipo de pruebas se desarrolla a través de una serie de pasos (Valentas *et al.*, 1997).

1. El Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) se utilizará para evaluar los factores de seguridad microbiológica del producto y cada etapa del proceso al que está expuesto.
2. Determinar qué reacciones físicas, químicas y microbiológicas tienen un impacto significativo y utilizarlo como indicador de deterioro de calidad. Para lograrlo, es necesario conocer la composición y el proceso al que es sometido el producto.
3. Seleccionar el tipo de envase que se utilizará para almacenar el alimento durante la prueba de vida útil.
4. Determinar las condiciones de temperatura para la prueba. La evaluación debe realizarse al menos tres temperaturas diferentes.
5. Establecer el tiempo necesario para mantener cada temperatura seleccionada.
6. Determinar la frecuencia de muestreo durante las pruebas y el número de repeticiones a analizar.

7. Graficar los resultados obtenidos para prevenir con anticipo si se necesitan cambios en los tiempos de prueba.
8. Con base en los resultados obtenidos, se calcula el orden de reacción y la velocidad de deterioro mediante la ecuación de Arrhenius y se estima la vida útil y el tiempo del alimento.

Determinación de parámetros cinéticos

Para explicar cómo la temperatura afecta el deterioro de los alimentos, necesitamos conocer parámetros cinéticos como la energía de activación y la constante de reacción. Sin embargo, la medición directa o indirecta de la concentración de A o B es necesaria porque estos tipos de parámetros no son posibles de medir por sí solos. Estos valores serán trazados en función del tiempo y se ajustan a métodos gráficos o estadísticos. Esto permite obtener el orden y la constante de reacción de ecuaciones que ayudan a predecir cambios en los alimentos (Salinas *et al.*, 2007).

Existen dos métodos para estimar los parámetros cinéticos, los cuales se basan en:

1. Regresión lineal: que se basa en la gráfica del logaritmo de la constante cinética con relación al inverso de la temperatura absoluta para obtener el valor de la pendiente y ordenada al origen. Usando la ecuación de Arrhenius, se determinan los valores para el factor pre exponencial y la energía de activación. Para realizar este procedimiento, se debe de tener los valores de las constantes cinéticas al menos de 3 temperaturas diferentes.
2. Regresión no lineal: calcula el valor de la energía de activación directamente utilizando datos de la concentración con respecto al tiempo.

Expresión del orden de reacción de deterioro

La selección del orden de reacción n para la ley de velocidad generalmente se basa en elegir el modelo que mejor se ajuste a los datos experimentales. El orden cero, primero y segundo son los órdenes de reacción más comunes para describir el deterioro de la calidad en alimentos frescos y procesados (Figura 6) (Calligaris *et al.*, 2019). Las reacciones de orden cero son ampliamente utilizados debido a su facilidad de uso y confiabilidad de los resultados obtenidos. Estas reacciones son perfectas para sistemas abiertos

donde el oxígeno no es un factor limitante (Guzmán *et al.*, 2016; Sonar *et al.*, 2019).

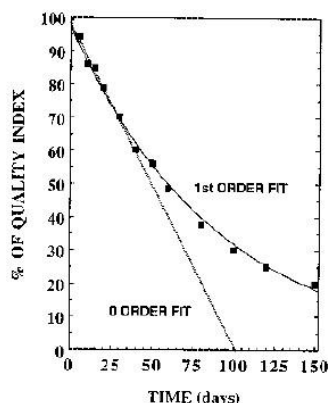


Figura 6. Representación esquemática de reacciones de orden cero y primero para la pérdida de calidad de un alimento en función del tiempo (Valentas *et al.*, 1997).

Es necesario determinar la ecuación de la recta y elegir la expresión que represente la pérdida de calidad del alimento estudiado según el orden de reacción (cuadro 5).

Cuadro 5. Ecuaciones para calcular la vida media de un alimento en función al orden de reacción.

Orden de reacción	Función	Tiempo de vida útil
0	$A_0 - A_t$	$A_0/(2k_0)$
1	$\ln(A_0/A_t)$	$\ln 2/k_1$
2	$1/A_t - 1/A_0$	$1/(k_2 - A_0)$
m ($m \neq 1$)	$\frac{1}{m-1}(A_t^{1-m} - A_0^{1-m})$	$\frac{2^{m-1} - 1}{k_m(m-1)} A_0^{1-m}$

Fuente: (Valentas *et al.*, 1997)

Modelización de la cinética de degradación

Debido a las reacciones químicas y biológicas aceleradas en los productos, la temperatura es uno de los factores ambientales con mayor impacto en el deterioro de los alimentos. La ecuación de Arrhenius (ecuación 1) se utiliza para calcular el efecto de la temperatura en los alimentos (Valentas *et al.*, 1997). Además, describe la relación entre la tasa de retención de nutrientes y la temperatura sobre los alimentos (Fredotović *et al.*, 2021).

$$K = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right)$$

Ecuación 1: Modelo de Arrhenius

Donde K es la constante cinética, k_0 es el factor pre exponencial, E_a es la energía de activación (J mol^{-1}), R es constante universal de los gases ($8.3145 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$) y T es temperatura absoluta (K).

Los modelos matemáticos describen la dependencia de la temperatura de las constantes de reacción en el rango de temperatura en los que se almacenan la mayoría de los alimentos, es decir, de -20 a 0°C para alimentos congelados, mientras que los alimentos refrigerados o deshidratados deben estar entre 4 a 45°C (Salinas *et al.*, 2007). En la pérdida de calidad de los alimentos, el modelo de Arrhenius es ampliamente utilizado. Este modelo se basa en las leyes termodinámicas y, por lo tanto, involucra el impacto de la temperatura en los alimentos (Valentas *et al.*, 1997).

Para obtener la energía de activación y el factor pre exponencial, se graficará el $\ln(K)$ en relación al tiempo, para luego obtener la ecuación de la recta y por consiguiente calcular las siguientes variables, figura 7.

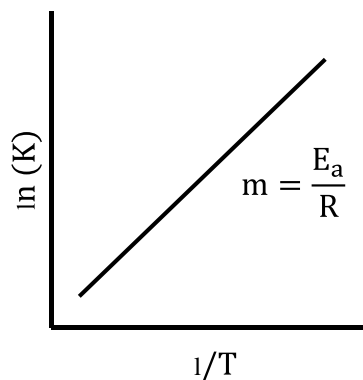


Figura 7. Grafica para obtener la E_a .

Dado a la dispersión de los datos, se ajustarán a una línea recta, lo que lleva a la linealización de la ecuación 1 (ecuación 2):

$$\ln K = \ln k_0 - \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad \text{Ec. 2}$$

Ecuación de Arrhenius linealizada, ecuación 3:

$$\underbrace{\ln K}_{Y} = \underbrace{\ln k_0}_{b} - \underbrace{\frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T} \right)}_{m x} \quad \text{Ec. 3}$$

Se utiliza la pendiente de la ecuación de la recta, para obtener la energía de activación (E_a) que refleja el calor que absorbe del medio externo para las reacciones químicas durante el deterioro de la calidad (Wang *et al.*, 2023), ecuación 4.

$$m = \frac{E_a}{R} \rightarrow E_a = m (R) \quad \text{Ec. 4}$$

Partiendo de la ecuación de la recta anterior (ecuación 3) obtenemos el factor pre exponencial (k_0), haciendo uso de la ordenada al origen. Entonces para calcular el factor k_0 , se elimina el \ln para obtener directamente la ecuación y calcular la variable, ecuación 5.

$$b = \ln k_0 \rightarrow \exp b = \cancel{\exp \ln} k_0 \rightarrow e^b = k_0 \quad \text{Ec. 5}$$

Al obtener las variables correspondientes, como el factor pre exponencial (k_0) y la energía de activación (E_a), podemos conocer la velocidad de deterioro mediante el modelo de Arrhenius (ecuación 1).

Así mismo, obtener el tiempo de vida útil de un alimento, se emplea la ecuación 6, utilizados para las reacciones de orden cero.

$$A = A_0 - Kt \rightarrow t = \frac{A_0 - A}{K} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde, A es el valor límite aceptable de la variable de interés, A_0 el valor inicial de la variable de interés, K la velocidad de deterioro (calculado con la ecuación de Arrhenius) y t es el tiempo de vida útil.

Q₁₀

Q₁₀ es un modelo que describe el efecto de la temperatura relacionado con la constante de reacción en los alimentos, haciendo referencia a la frecuencia con la que la velocidad de la reacción cambia con un aumento de 10°C (Rondón *et al*, 2004). Es decir, si el valor Q₁₀ es 1, la velocidad de reacción se mantiene constante, pero si el valor de Q₁₀ es 2 o 3, la velocidad se duplica o triplica (Kader, 2013).

El valor Q₁₀ se obtiene utilizando la ecuación 7, que incluye variables de velocidad de deterioro (k) determinada mediante un modelo de Arrhenius.

$$Q_{10} = \frac{K_1}{K_2} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde, K1 es la constante de reacción a la temperatura (T+10 °C), K2 es la constante de reacción a la temperatura T (°C).

Otro método para determinar el valor Q_{10} es partiendo del análisis previo, donde se traza el logaritmo natural de la vida útil en función de la temperatura en estudio (°C) figura 8 (Ocampo, 2003).

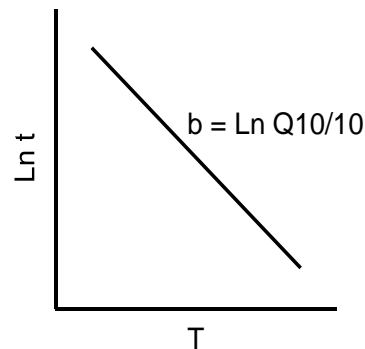


Figura 8. Grafica para obtener el Q_{10} .

Se obtiene la ecuación de la recta, a partir de la cual se elimina el ln con la ecuación 8:

$$t = t_0 \exp - bT \rightarrow \ln t = \ln t_0 - \ln \exp - bT \quad \text{Ec. 8}$$

Encontrar el valor Q_{10} será más fácil con la ayuda de la ecuación 9.

$$\underbrace{\ln t} = \underbrace{\ln t_0} - \underbrace{b T} \quad \text{Ec. 9}$$

$$y = b + m x$$

Con la pendiente de la recta se obtiene el valor Q_{10} (ecuación 10).

$$b = \frac{\ln Q_{10}}{10} \quad \text{Ec. 10}$$

El $\ln Q_{10}$ se despeja y luego se elimina (ln) (ecuación 11).

$$\ln Q_{10} = (b)10 \rightarrow \exp \ln Q_{10} = \exp(b) 10 \quad \text{Ec. 11}$$

Finalmente, la ecuación 12 se obtiene para calcular el valor Q_{10} .

$$Q_{10} = \exp 10 (b) \quad \text{Ec. 12}$$

Pruebas de calidad

Para garantizar la calidad de los alimentos, se realizan pruebas microbiológicas, físicas y químicas para evaluar la vida útil real de los alimentos (Fu & Labuza, 1993).

Los parámetros de calidad son indicadores importantes en las operaciones postcosecha. Los atributos de calidad externa de los productos frescos, como su tamaño, forma, color, firmeza, peso y sabor (Pinheiro *et al.*, 2013), son los que determinan su calidad interna, que incluye la acidez, el contenido de azúcar y la presencia de otros parámetros bioquímicos (Zhang *et al.*, 2021). Estas características se consideran necesarias para que los alimentos se consideren seguros y para minimizar los cambios indeseables en los parámetros (Kilcast & Subramaniam, 2000).

El objetivo de este estudio fue evaluar los residuos de cebolla mediante un sistema de fermentación sumergida utilizando *A. niger* para la producción de un extracto rico en compuestos bioactivos. El extracto fermentado es utilizado como un aditivo para su incorporación en RC a base de mucilago de chía – alginato de sodio y aplicado en fruto de tomate. Y a través de pruebas aceleradas determinar la vida útil del producto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto se realizó en el Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos y en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Etapas I: Recolección y Caracterización de Materia Prima

Materia prima

Se utilizó residuos de cebolla blanca, obtenido del mercado de abasto, Saltillo, Coahuila. El material se sometió a un proceso de deshidratación a 60 °C por 48 horas. Posteriormente, en una licuadora manual (Oster 4127) se pulverizó y se cribó en un tamiz (Montinox México) de tamaño de partícula: 10 (2,00 mm), 30 (0,60 mm). La muestra se conservó en bolsa hermética a temperatura ambiente.

Caracterización del residuo de cebolla

Proteína

Se determinó proteína por el método Kjeldahl, (AOAC, 1990). Se pesó 0.2 g. de muestra de cebolla en un papel poroso y se introdujo en el matraz Kjeldahl. Se agregó cuidadosamente 4 mL de solución digestora y se transportó en el digestor Kjeldahl para su calentamiento. Al obtener la muestra con tonalidad verde cristalino, se llevó a un Microdestilador Kjeldahl, donde se agregó NaOH al 50 %. En un recipiente con 30 ml H₃BO₃ al 2 % previamente adicionado un indicador de proteína, se tomó la muestra destilada a 60 ml. Se tituló con H₂SO₄ al 0.025 N. Para calcular el % de proteína, se realizó por la ecuación 13 y 14.

$$\% \text{ Nitrogeno} = \left[\left(\frac{A * B}{C} \right) * 0.014 \right] 100 \quad \text{Ec. 13}$$

$$\% \text{ Proteina} = \% \text{ Nitrogeno} * 6.25 \quad \text{Ec. 14}$$

Donde A es el ml de H₂SO₄ gastado, B la Normalidad de H₂SO₄, C es el peso de muestra (g).

Fibra cruda

De acuerdo con el manual (AOCS, 2005), el análisis de fibra se realizó en el equipo ANKOM 200, FIBER ANALYZER. Previamente se pesó y se registró el peso de cada bolsa vacía (W1), incluyendo bolsa blanco (C1). En bolsa filtro porosa se pesó 1 g de muestra de cebolla (W2). Después de ser sellado, es

sumergido en éter de petróleo por 10 minutos. El análisis se llevó a cabo el equipo antes mencionado, donde se agregó 2 L de H₂SO₄ al 0.255 N, con una agitación constante a 100 °C por 40 minutos. Seguido, se realizó 2 lavados con agua caliente por 5 minutos. De la misma forma se realizó con NaOH al 0.313 N a 100 °C por 40 min y con su respectivo lavado. Al término, la muestra fue sumergida en acetona durante 5 min, para luego dejar en campana de extracción hasta que el olor a acetona hubiera desaparecido. Posteriormente se colocó en una estufa de secado (YAMATO DKN602C) a 105 °C por 4 h. Se registró el peso de la muestra y se incineró a 600 °C por 2 horas. Nuevamente se tomó el peso de ceniza (W3) y el % de fibra cruda se calculó con la ecuación 15.

$$\% \text{ Fibra de cruda} = \frac{(W3 - (W1 - C1))}{W2} * 100 \quad \text{Ec. 15}$$

Donde W1 es el peso tara de la bolsa, W2 peso de la muestra (g), W3 peso de materia orgánica (pérdida de peso al encender la bolsa y la fibra), C1 factor de bolsa en blanco corregido con cenizas (pérdida de peso por ignición de bolsa en blanco/bolsa en blanco original).

Azúcares totales

Se realizó por la técnica de Dubois *et al.*, 1956. En 40 mL de agua destilada se agregó 1.5 g. de muestra de cebolla. Al disolverse, en un tubo de ensayo se puso 250 µL del extracto y 250 µL de fenol al 5%, donde se mantuvo a baño de agua fría por 5 min. Al instante se añadió 1 mL de H₂SO₄, donde se dejó reaccionar por 5 min. A continuación, la muestra se mantuvo en reposo a temperatura ambiente y se procedió a tomar lectura en el espectrofotómetro (Thermo Fisher G10S Uv-Vis) a una absorbancia de 480 nm. Para el estándar se utilizó glucosa 0.1 % a 0-1000 mgmL⁻¹ (SigmaAldrich).

Azúcares reductores

Mediante la metodología de Miller, 1959, se determinó los azúcares reductores. Se pesó 1.5 g. de muestra de cebolla para disolverse en 40 mL de agua destilada. Del extracto obtenido, se tomó 1 mL y se agregó 1 mL del reactivo DNS, la cual se mantuvo a baño maría por 5 min. a 90 °C. Para detener la reacción, se pasó a baño de agua fría por 5 min., seguido se agregó 5 mL agua destilada y para su posterior reposo se mantuvo a temperatura

ambiente. La lectura se realizó por espectrofotometría (Thermo Fisher G10S Uv-Vis) a 540 nm. Para el estándar se utilizó glucosa 0.1 % a 0-1000 mgmL⁻¹ (SigmaAldrich).

Fenoles hidrolizables totales

En 40 ml de agua destilada se diluyó 1.5 gramo de muestra de cebolla. De 800 μ L del extracto de cebolla, se agregó 800 μ L del reactivo Folin Ciocalteu, para reaccionar por 5 minuto. Se añadió 800 μ L de Na₂CO₃ al 0.01M, después de 5 minutos, la muestra se diluyó con 5 ml de agua destilada. La lectura se realizó por espectrofotometría (Thermo Fisher G10S UV-VIS) a 790 nm (Makkar *et al.*, 1993). El estándar utilizado es Ácido Gálico (SigmaAldrich) al 1 % a 0-800 mgmL⁻¹.

Etapla II: Proceso de fermentación para la recuperación de compuestos bioactivos

Procedimientos para fermentación sumergida

Microorganismo

Se utilizó el hongo *Aspergillus niger*, colección del Laboratorio de Fermentaciones del Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Se preparó PDA conforme a instrucción del recipiente, después se lleva a 45°C y se vació en cajas Petri. El hongo se sembró por estriado y se incubó a 30 °C por 7 días, para su posterior uso.

Recuento de Esporas

Este método está basado en el recuento directo del número de células en un volumen determinado, prefijado en la cámara de recuento, mediante su observación al microscopio. La técnica no puede diferenciar entre células viables y no viables.

Se agregó 20 ml de Tween 80 al 0.1 % a la caja Petri previamente esterilizado el medio con el hongo *Aspergillus níger*. Se diluyó 100 μ L de la suspensión de espora en 20 mL de agua destilada, seguido se tomó la suspensión para agregar en la cámara de Neubauer para su observación en microscopio 40 X. El conteo se realizó utilizando los cuadros seleccionados (forma z), un total de 13 cuadros (figura 9).

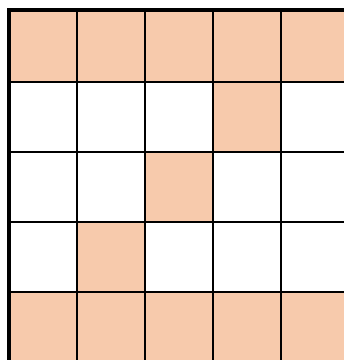


Figura 9. Conteos en la cámara de Neubauer.

Se utilizó la siguiente formula de la ecuación 16 para determinar el número de esporas por mL y el número total de esporas:

$$\text{Esporas/ mL} = (\text{promedio})(250,000)(\text{factor de dilución (200)}) \quad \text{Ec. 16}$$

Preparación del proceso de fermentación

En el cuadro 6 se describe la composición de un medio de cultivo para la preparación del caldo Czapek Dox en cada 100 ml, según el método descrito por Omojasola & Benu, 2016. Donde las sales fueron disueltas en agua destilada y esterilizadas en autoclave a 121 °C durante 15 min.

Cuadro 6. Composición del medio Czapek Dox.

Componentes	gmL ⁻¹
Glucosa	1.5
NaNO ₃	0.3
K ₂ HPO ₄	0.1
MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.05
KCl	0.05
FeSO ₄	0.001

Una vez enfriado el medio de fermentación, en los matraces Erlenmeyer de 250 ml se agregó 100 ml del medio de cultivo y como sustrato adicional se añadió 1.5 g de muestra del residuo de cebolla. Se inoculó el medio de cultivo con la suspensión de esporas del *Aspergillus niger* a 1x10⁶ esporas/ mL mediante el recuento de esporas. Se incubó a 30 °C con 200 rpm (Innova•44 incubator Shaker) durante el tiempo de fermentación.

Producción de compuestos bioactivos

La producción de los compuestos se evaluó por triplicado cada 24 h, hasta las 240 h (10 días) (figura 10), para obtener la máxima producción y garantizar la reproducibilidad de los compuestos bioactivos.

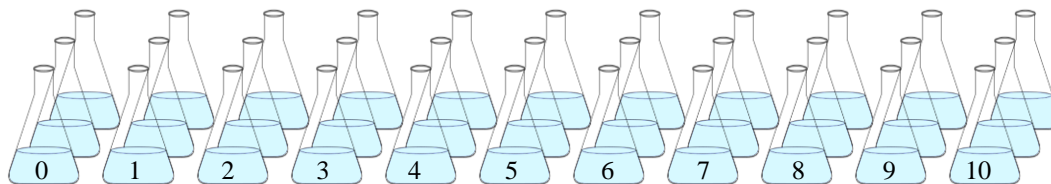


Figura 10. Fermentación sumergida de 0 a 10 días.

Recuperación del extracto fermentado

Para la recuperación del extracto crudo, se filtró a través de un papel poroso con ayuda de una bomba de vacío. El sobrenadante se centrifugó por 10 minutos a 4500 rpm, y nuevamente se utilizó filtros de membrana con 0.45 μm de porosidad para la eliminación de esporas presentes. La obtención del extracto fermentado se conservó a 4 °C para su posterior análisis.

Recuperación de biomasa fúngica

El proceso de filtración fue necesario para la recuperación de biomasa generada por el hongo *Aspergillus niger* en el proceso de fermentación. La biomasa obtenida a través del papel poroso se almacenó en un horno de secado a 70 °C hasta obtener un peso constante. El material se conservó en un ambiente libre de humedad para su posterior análisis.

Caracterización de la fermentación sumergida

Biomasa fúngica

Con la técnica colorimétrica de glucosamina (Medina-Morales *et al.*, 2011), permite estimar el crecimiento de microorganismos en el cultivo. Para la determinación de glucosamina asociada al hongo, se requiere biomasa seca del mismo (100 mg), a lo cual se somete al procedimiento descrito en el diagrama de flujo (figura 11). Por otra parte, se realiza una curva patrón con glucosamina, utilizado como estándar.

Procedimiento:

Para esta técnica es necesario preparar las siguientes soluciones:

- A. Solución de acetilacetona.** Disolver 1 mL de acetilacetona en 50 mL de Na_2CO_3 0.5 N.

B. Reactivo de Erlich. Disolver 1.6 g de *p*-dimetilaminobenzaldehído en 60 mL de sol. HCl-EtOH (1:1).

Inicialmente el diagrama de flujo describe el pretratamiento de la muestra, mediante el cual se libera la glucosamina, y luego la reacción con la solución A y B para su cuantificación.

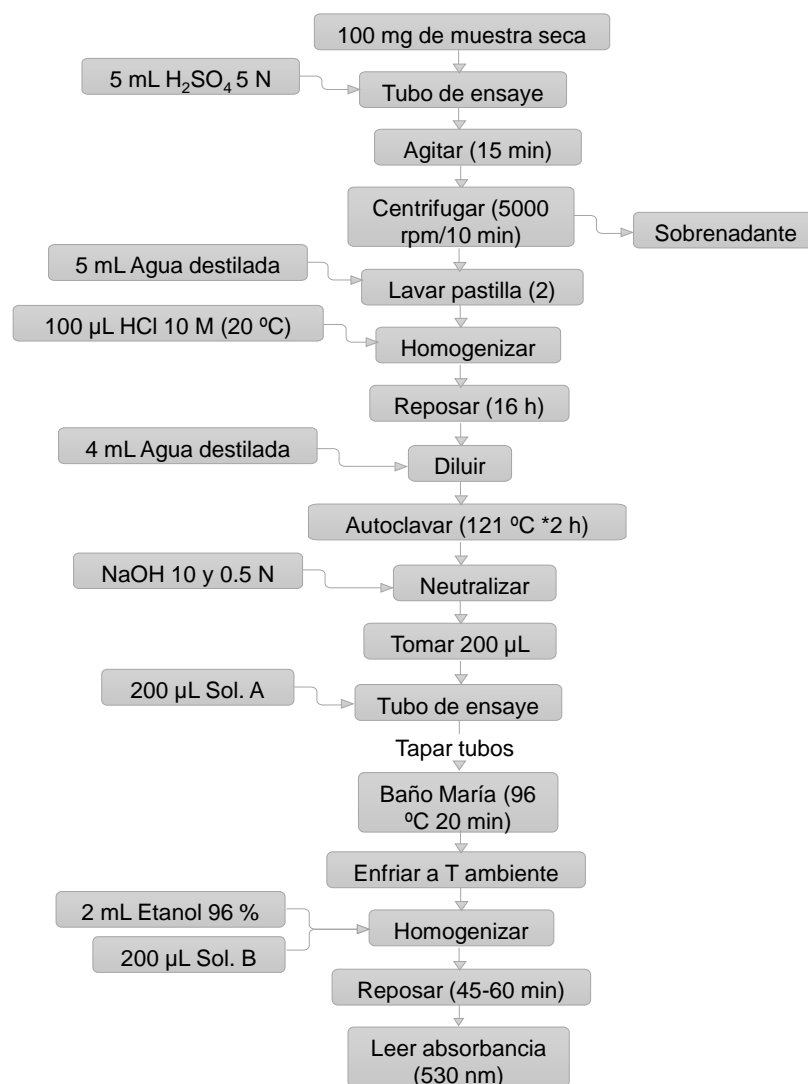


Figura 11. Diagrama de flujo para la cuantificación de glucosamina.

Azúcares totales

Los azúcares totales se determinaron por el método fenol-sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956). Se tomaron 250 µL del extracto fermentado para agregar 250 µL de fenol al 5%, dejándolo en baño de agua fría por 5 min. Luego se añadió 1 mL de H₂SO₄ concentrado y se dejó reaccionar por 5 min. Se dejó reposar a temperatura ambiente y se tomó lectura a una absorbancia de 470 nm

(espectrofotómetro Thermo Scientific G10S Uv-Vis). Se utilizó como estándar la glucosa (Jalmek, México) al 0,1 %.

Azúcares reductores

Para la determinación de azúcares reductores (Miller, 1959), se agregó 1 mL del extracto fermentado, además de 1 mL de DNS, luego se colocó en baño maría a 90 °C durante 5 min. Para detener la reacción, enseguida se colocó en baño de agua fría por 5 min. y se adicionó 5 mL de agua destilada. Por último, la muestra se dejó reposar a temperatura ambiente y la lectura se realizó a una absorbancia de 540 nm (Espectrofotómetro Uv-Vis Thermo Scientific G10S). Se utilizó glucosa (Jalmek, México) al 0,1% como estándar.

Fenoles hidrolizables totales

Para su cuantificación, se realizó con la metodología de Makkar *et al.*, 1993, donde se añadió 800 μ L del extracto fermentado y 800 μ L del reactivo Folin-Ciocalteu. El ensayo se mezcló y se dejó reaccionar durante 5 min. Luego se adicionó 800 μ L de Na_2CO_3 0,01 M, permitiendo reposar a temperatura ambiente. Finalmente, la solución se diluyó en 5 ml de agua destilada y la lectura se realizó a 790 nm en un espectrofotómetro Uv-Vis Thermo Fisher G10S. Se utilizó ácido gálico al 1% como estándar.

Flavonoides totales (Quercetina)

La determinación de los flavonoides totales se realizó con una metodología modificada (Nurcahyo *et al.*, 2020). En un tubo de ensayo se añadió 1 mL del extracto fermentado y 1 mL de cloruro de aluminio al 2% preparado en metanol, permitiendo reposar por 1 h. en la oscuridad. Se tomó lectura a 546 nm en el espectrofotómetro Thermo Fisher G10S Uv-Vis. Se utilizó quercetina para la curva estándar (0-50 mg/ml).

Capacidad antioxidante

La determinación del compuesto antioxidante se realizó mediante DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo; Sigma-Aldrich, EE.UU.) (Yeoh & Ali, 2016) con algunas modificaciones, a una concentración del 60 % p/v, en una solución metanólica. El extracto fermentado y el radical DPPH se colocaron en una proporción 50:50. Se dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 min en la oscuridad. Se realizó la lectura en un lector de microplacas (BIOBASE EL-10 A ELISA) a una absorbancia de 530 nm. Se preparó una solución de Trolox (estándar) a una concentración de 0-1000 mM con metanol.

Aminoácidos totales

Con la metodología de Parida *et al.*, 2002 se cuantificó los aminoácidos totales, en la cual se agregó 2 mL del extracto fermentado y 2 mL de Ninhidrina al 0.2 %, previamente preparado en etanol al 95 %. Se calentó a baño maría a 100 °C por 20 min y se dejó reposar a temperatura ambiente. La lectura es tomada en espectrofotómetro (Thermo Fisher G10S Uv-Vis) a una absorbancia de 570 nm. Se utilizó glicina como curva estándar (1-30 mgmL⁻¹).

Alicina

La determinación de alicina se llevó a cabo mediante varios procedimientos en los que se disolvió previamente 10 mL del extracto fermentado en 5 mL de hexano, para después someter a una temperatura de 30 °C para mayor concentración del extracto. Al obtener muestra concentrada seguido es diluido con 5 mL de agua destilada. Luego, para la cuantificación de la alicina, se mezcló 1 mL de la dilución anterior con 5 mL de la solución L-cisteína 10 mM (en buffer Tris - HCl 50 mM a pH 7.5). Después se tomó 1 mL de la solución resultante y se diluyó en 99 mL de agua bidestilada. Nuevamente se tomó 4.5 mL de la solución reciente y se agregó 0.5 mL de DTNB 1.5 mM (en buffer Tris – HCl 50 mM a pH 7.5), para dejar reaccionar por 15 minutos. Al final del proceso, la lectura es tomado a una absorbancia de 412 nm. Para el blanco se utilizó agua bidestilada (Zhou *et al.*, 2015). En la cuantificación de la alicina se utilizó la ecuación 17:

$$\Delta A_{412} = A_0 - A$$

$$C \text{ Alicina (mM/mL)} = \frac{(\Delta A_{412} * \beta)}{2 * 14150} \quad \text{Ec. 17}$$

Donde, A₀ es la Absorbancia del blanco, A Absorbancia de la muestra, β es la dilución de la L-cisteína, 14,150 es el coeficiente de extinción molar (E) de alicina en agua.

Actividad antifúngica

La cepa *Aspergillus niger* y *Rhizopus stolonifer* fueron proporcionados por el Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos (UAAAN). Ambos hongos fueron incubados a 30 °C y 25 °C durante 7 días, respectivamente para su posterior uso. Para determinar el efecto inhibitorio del extracto

fermentado sobre hongos fitopatógenos, se realizó el método reportado por Jasso de Rodríguez *et al.*, 2017. La preparación del medio PDA se realizó de acuerdo a las instrucciones del envase. En condiciones estériles del medio PDA, en cajas petri son vaciados y mezclados con el extracto fermentado de cebolla, en su respectiva concentración (0 control, 500, 1500, 2500, 3500, 5000 mgL⁻¹). Una vez solidificado el medio, se sembró un explante de 0.5 cm de diámetro de cada hongo en el centro de la caja. Las cajas Petri fueron incubados a 30 °C y 25 °C para *Aspergillus niger* y *Rhizopus stolonifer*, respectivamente. El potencial de inhibición de cada tratamiento se evaluó midiendo el crecimiento radial (cm). En la cuantificación del % de inhibición se usó como referencia el crecimiento del tratamiento control (cajas Petri sólo con medio PDA y explante de hongo) y se calculó mediante la ecuación 18.

$$\% \text{ de Inhibicion} = \frac{DC - DT}{DC} \times 100 \quad \text{Ec. 18}$$

Donde, DC es el diámetro del control, DT es el diámetro de los tratamientos a diferentes concentraciones.

Análisis estadístico

Se utilizó el paquete estadístico Minitab® (versión 17.1.0) para procesar los datos. Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$).

Etapas III: Aplicación del recubrimiento comestible y su evaluación de parámetros de calidad en el fruto de tomate

Materia prima

Para el desarrollo del recubrimiento comestible se usó como materia prima las semillas de chía para obtención del mucílago (*Salvia Hispánica L.*) (Plantavit). Un agente gelificante, siendo el alginato de sodio (Cape Crystal Brands) de grado alimenticio y el CaCl₂ (Jalmek) como agente reticulante. El fruto modelo utilizado fue el tomate saladette, adquiridos en el central de abasto de saltillo Coahuila.

Selección del recubrimiento comestible

Para la formulación del recubrimiento comestible se basó a los reportes de Rueda, (2019). La selección de la formulación se realizó en función al estudio reológico, su mejor adherencia y uniformidad de la mezcla hacia al fruto

modelo (pruebas preliminares). Las características que mejor presentaron para la formulación del recubrimiento fueron con la concentración del alginato al 2 %, con una proporción de: 75 % mucilago de chíá y 25 % de alginato de sodio.

Funcionalización del recubrimiento comestible

Para la funcionalización del recubrimiento comestible (RC) de esta investigación, se llevó a cabo la incorporación del extracto fermentado (EF), en función a su óptima concentración de las propiedades de fenoles hidrolizables totales y en su actividad antifúngica, descritas anteriormente.

Tratamientos

La aplicación de tratamientos en el fruto modelo se constituyó principalmente por un Testigo (T) (fruto sin recubrimiento), con Recubrimiento Comestible (RC) y el Recubrimiento Comestible con Extracto Fermentado (RC+EF). Del mismo modo, los 3 tipos de tratamientos son sometidos a temperaturas de 25, 35 y 45 °C, descritas específicamente en el cuadro 7.

Cuadro 7. Aplicación de tratamientos

	25 °C	35 °C	45 °C
Día	Tratamiento	Tratamiento	Tratamiento
0	T RC RC+EF	T RC RC+EF	T RC RC+EF
1	T RC RC+EF	T RC RC+EF	T RC RC+EF
2	T RC RC+EF	T RC RC+EF	T RC RC+EF
3	T RC RC+EF	T RC RC+EF	T RC RC+EF
4	T RC RC+EF	T RC RC+EF	T RC RC+EF
5	T RC RC+EF	T RC RC+EF	T RC RC+EF
6	T RC RC+EF	T RC RC+EF	T RC RC+EF
7	T RC RC+EF	T RC RC+EF	T RC RC+EF
8	T RC RC+EF	T RC RC+EF	T RC RC+EF
9	T RC RC+EF	T RC RC+EF	T RC RC+EF

Preparaciones del material

Concentración del cloruro de calcio y alginato de sodio

En la preparación del agente reticulante, el agua destilada se calentó a 60 °C para después agregar CaCl_2 a una concentración del 0.1 M. Una vez que el medio se disolvió completamente, se esterilizó a 121 °C/ 15 minutos.

Para la preparación del alginato de sodio, previamente se calentó el agua destilada a 60 °C y con agitación constante se adicionó progresivamente el alginato correspondiente hasta su homogenización. La muestra se esterilizó en condiciones de carbohidrato (108 °C/ 10 min) (Castillo *et al.*, 2017) y seguido se enfrió a temperatura ambiente.

Extracción del mucílago

Para la extracción del mucílago, la semilla de chía es hidratado en agua destilada (porción 1:10 p/v) con una agitación constante de 500 rpm durante 2 h y una temperatura de 37 °C. Después del tiempo, la mezcla obtenida se licuó por pequeños pulsos a velocidades bajas. Posteriormente, se centrifugó (PRO-4M VELAB) a 5,000 rpm durante 10 minutos y se esterilizó a 108 °C/ 10 minutos (figura 12). Se dejó enfriar a temperatura ambiente hasta su posterior uso.

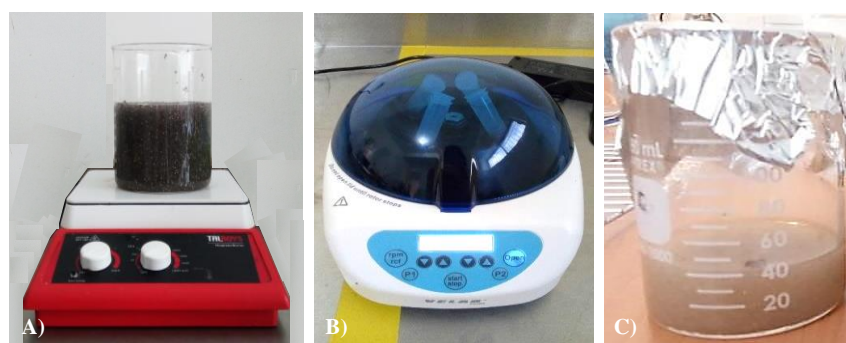


Figura 12. Proceso de obtención del mucílago de chía: A) Hidratación de la semilla, B) Centrifugado y C) Obtención del mucílago de chía (imagen propia).

Formulación del recubrimiento

Para la elaboración del recubrimiento comestible, se incorporó el mucílago de chía con el alginato de sodio, preparado a la proporción descrita. En el caso del tratamiento con RC+EF, se incorporó el extracto fermentado en la matriz formulada.

Procesos en la aplicación del recubrimiento comestible sobre el fruto

Acondicionamiento del fruto

Para el acondicionamiento del fruto modelo, primeramente, se seleccionó en relación a sus características homogéneas del tomate, como es el tamaño, color, ausencia de daños y buena madurez. Donde después es lavado y desinfectado para eliminar impurezas. Para quitar el exceso de humedad, se llevó a una estufa de aire forzado a 30 °C por 30 minutos.

Aplicación del recubrimiento comestible

Existen diversos métodos de aplicación para el recubrimiento comestible, donde la técnica de inmersión fue el método aplicado en este estudio. El fruto se introdujo completamente en la matriz formulada durante 1 min. Para luego sumergirse en el CaCl_2 para la formación de una fina capa en la superficie del fruto. El recubrimiento formado en el fruto modelo es transportado en la estufa de aire forzado a 30 °C durante 1 hora, para eliminar el exceso de humedad (figura 13). Para los frutos del tratamiento testigo, son sumergidos en agua destilada para igualar las condiciones del experimento.

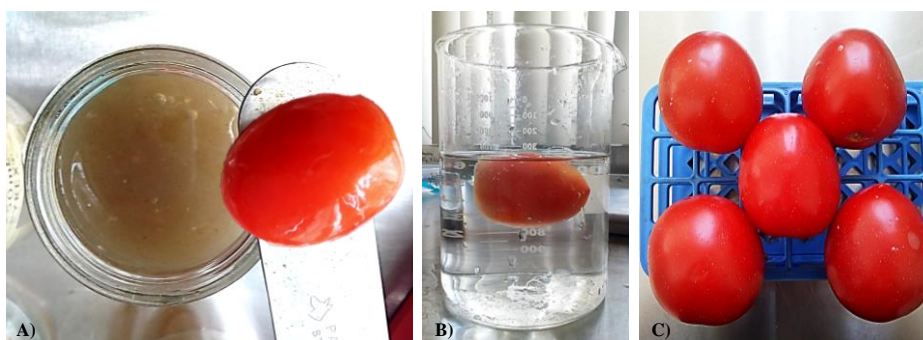


Figura 13. Procesos en la aplicación del recubrimiento comestible: A) Inmersión del tomate en la matriz, B) Fruto sumergido en CaCl_2 y C) Formación del recubrimiento en el fruto modelo (imagen propia).

Acondicionamiento de los tratamientos

Al realizar todo el proceso, los tratamientos son sometidos a sus respectivas temperaturas de 25, 35 y 45 °C en una cámara climática (Binder) con 60 % de humedad relativa. Asimismo, el monitoreo de las muestras se llevó a cabo durante 9 días.

Evaluación de los parámetros de calidad

Las muestras almacenadas a 25, 35 y 45 °C se utilizaron para medir los índices de calidad por día. En cada tratamiento y en cada temperatura de

almacenamiento, se seleccionaron y se midieron 5 muestras al azar. El tiempo de evaluación se realizó durante 9 días (cuadro 7).

Peso del fruto

Debido a que los frutos son sometidos a temperaturas elevadas, estas presentan pérdidas de peso. Por consiguiente, la evaluación del tomate se realizó mediante una balanza analítica (Ohaus Pioneer), en la cual se tomaron datos del peso de los frutos. Los valores son expresados en porcentaje de pérdidas de peso al inicio del experimento y a diferentes intervalos durante el almacenamiento, ecuación 19, (Hernández *et al.*, 2020).

$$PP(\%) = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100 \quad \text{Ec. 19}$$

Donde PP (%) es el porcentaje de pérdida de peso, P_i es el peso inicial de la muestra, P_f es el peso final (día de la determinación).

Firmeza del fruto

Para medir la firmeza de los tomates, se realizó la prueba de punción, utilizando el analizador de textura (Extech FHT200). Las lecturas son tomadas en 3 puntos del alrededor del plano ecuatorial del fruto. En forma vertical se introdujo una puntilla de 3 mm de diámetro a una fuerza constante. La fuerza máxima durante la penetración se registró como firmeza del fruto. Los resultados son expresados en N (Zhang *et al.*, 2020).

Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de SST de la fruta se determinó utilizando un refractómetro (Atago, PAL- 3). Se extrajo el zumo de tomate, donde seguido es depositado en forma de gota sobre el prisma del refractómetro digital. La lectura se realizó directamente y el valor es expresados en °Brix (Zhang, Luo, et al., 2021).

pH

Se utilizó el medidor electrónico de pH (Hanna Instruments) previamente calibrada. En cada fruto se extrajo el jugo de forma manual, para después determinar el pH de las muestras. El valor se tomó directamente del potenciómetro (Cherono *et al.*, 2018).

Evaluación del color

La pérdida de color son otros de los factores que influyen en las pérdidas de calidad del fruto. A través del colorímetro (Konica Minolta CR-400) se evaluó

los parámetros de color del fruto. Previamente se calibró el equipo sobre el plano de calibración. Para la evaluación, se tomaron 5 muestras en cada tratamiento, en la cual, las mediciones son tomados en 3 puntos alrededor del fruto, obteniendo los parámetros L^* a^* b^* (Baninaiem *et al.*, 2016).

Análisis estadístico

Para los parámetros de calidad, el diseño experimental fue completamente al azar, donde en cada temperatura establecida se midieron 5 muestras por tratamiento y por cada día de muestreo, con un periodo de evaluación de 9 días. El análisis de datos se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias Tukey ($p \leq 0,05$) en el programa estadístico NCSS 2007, para determinar la diferencia entre tratamientos durante todo el periodo de almacenamiento.

Evaluación del modelo cinético de degradación

Los valores experimentales de los parámetros de calidad se grafican en función del tiempo. Su variación se investigó mediante un análisis de regresión lineal obtenido a partir de la pendiente que representa la velocidad de cambio del atributo de calidad (K). Dado que el parámetro se ajusta al comportamiento lineal, se determina el orden de reacción (orden cero). Para la ecuación de la línea recta, fue necesario realizar funciones anteriores para obtener la energía de activación (E_a) y el factor pre-exponencial (K_0). Con el modelo de Arrhenius se obtiene la constante de la cinética (K), sustituyendo la temperatura de interés. Para determinar la vida útil (t) de los alimentos, estas se grafican en función de la temperatura experimental, y con la ecuación de la recta se sustituye la temperatura de interés a la que se desea conocer la vida útil. El valor de la velocidad de deterioro (K) se utiliza para calcular el valor Q_{10} .

RESULTADO Y DISCUSIÓN

Análisis Físico-Químico del residuo de cebolla.

En el cuadro 8 se presentan los resultados de la caracterización de los residuos de cebolla deshidratada. La importancia del análisis del residuo significa el conocimiento del material como fuente de energía para llevar a cabo el proceso de fermentación por microorganismos.

Cuadro 8. Composición Físico-Químico de residuo de cebolla

Parámetros	Valor
Fibra cruda (%)	36.4 ± 5.9
Proteína cruda (%)	3.5 ± 0.23
Azúcares totales (mg/kg ms)	754.2 ± 76.4
Azúcares reductores (mg/kg ms)	286.6 ± 11.6
Fenoles hidrolizables totales (mg GAE/g ms)	4.8 ± 1.1

La composición de fibra cruda del residuo de cebolla es de 36.4 %. Su composición se atribuye la cantidad de celulosa, hemicelulosa y lignina presente en la cascara de cebolla deshidratada (Rhim *et al.*, 2014), otorgando posibilidades de obtener una gran cantidad de compuestos fenólicos de alto valor agregado (Abdón, 2019). En un estudio, se reportó una concentración de fibra en diferentes variedades de cascara de cebolla que osciló entre 4.45% y 8.28% (Sagar *et al.*, 2021). Asimismo, Vojvodić *et al.*, (2016), obtuvo un contenido de 70.03 % de la fibra insoluble. En el estudio de Jaime *et al.*, (2002), el contenido de fibra de las partes superior e inferior de la cebolla roja es del 30-50 % de la materia seca. Estos resultados son más similares a la del presente estudio.

En el resultado del análisis de proteína se obtuvo un contenido de 3.5 % en base a materia seca. El valor obtenido de la proteína indica un valor aproximado al contenido de nitrógeno, que es un elemento esencial de la función microbiana, el cual será aprovechado en el proceso de fermentación. Yan *et al.*, (2021), informó un contenido de proteína en el residuo de cebolla fue de 0.96 %, siendo inferior a lo encontrado en el estudio. Sin embargo, Prokopov *et al.*, (2018) encontraron un contenido de 8.5 % de proteína cruda.

Los valores obtenidos de azúcares totales y azúcares reductores presentes en el residuo de la cascara de cebolla reportan niveles altos debido a sus propiedades, principalmente glucosa, fructosa y sacarosa, siendo las primeras fuentes de sustrato disponible en un medio de cultivo para los microorganismos (Cho *et al.*, 2021). Del mismo modo, los carbohidratos pueden servir como sustratos para la producción de diversos compuestos fenólicos y esto puede conferir un alto potencial fenólico y antioxidante (Salisu *et al.*, 2020).

Por otra parte, la concentración de fenoles totales obtenida es de 4.8 mg GAE/g ms. Además, Santos *et al.*, (2008) también obtuvo una concentración similar a nuestro estudio, donde fue de 4.76 mg GAE/g de peso seco en cebolla blanca. El valor total del compuesto fenólico de las escamas externas de diferentes variedades de cebolla varía de 8.16 a 22.63 mg/g (Sidhu *et al.*, 2019). En otro informe, se encontró un contenido fenólico, donde variaba de 14.55 a 288.74 mg GAE/g de peso seco (Sagar *et al.*, 2020). La investigación se ha centrado en la capa externa de las cebollas, que son la principal fuente de diferentes fitoquímicos biológicamente activos, como la quercetina, ácido gálico, el ácido ferúlico, el kaempferol y otros compuestos fenólicos, que tienen actividad antioxidante (Tonyali & Sensoy, 2017).

Los resultados muestran que el residuo de cáscara de cebolla tiene buenas perspectivas para ser aprovechado como sustrato en fermentación en medio líquido, contribuyendo con nutrientes necesarios para que el microorganismo realice sus funciones metabólicas.

Fermentación sumergida

Cinética de crecimiento de *Aspergillus niger*

La invasión fúngica está asociada a las fuentes de carbono fácilmente asimilables disponibles debido a la biodegradación de materiales lignocelulósicos y diferentes compuestos fenólicos presentes en la cáscara de cebolla, así como a la síntesis de diversas enzimas y producción de compuestos bioactivos. Rhim *et al.*, (2014) mencionan que la cáscara de cebolla está compuesta principalmente por celulosa, seguida de lignina, hemicelulosa y un número menor de extractivos, como fenólicos y fructooligosacáridos. Por lo tanto, la valorización de estos polisacáridos conduce a una fuente potencial de carbono y energía para los procesos de fermentación y biotransformación (Choi *et al.*, 2015a).

El contenido de glucosamina se utilizó como medida indirecta para hacer una estimación del crecimiento del hongo *A. niger*. La figura 14 muestra el progreso de la fermentación, donde la producción máxima de 60.9 mg GcA/g ms se alcanzó a las 144 horas. La fase temprana de crecimiento exponencial de *A. niger* desde las primeras 24 h, podría estar asociada a la asimilación de glucosa como fuente de carbono (Kriaa & Kammoun, 2015).

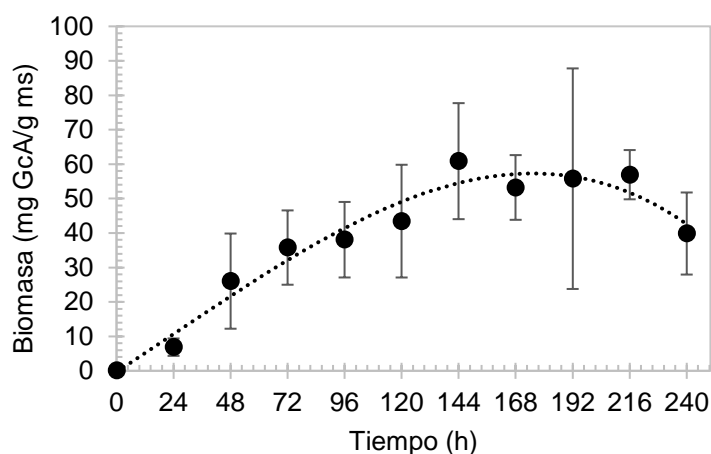


Figura 14. Crecimiento de *A. niger* por SmF utilizando glucosa y cebolla como sustrato.

Sin embargo, una vez consumida la glucosa, la fase estacionaria se alcanza después de 168 horas, donde algunas células microbianas pueden sufrir autólisis con la liberación de varios compuestos, aumentando así su concentración en el extracto (Lima *et al.*, 2019). Asimismo, Oshoma *et al.*, (2017) mencionan que la disminución en el rendimiento de biomasa puede ser el resultado del agotamiento de nutrientes, necesarios para el crecimiento fúngico y la formación de biomasa.

El comportamiento cinético de la biomasa se atribuye al tiempo de fermentación y a la edad del microorganismo. Asimismo, muestra un buen comportamiento respecto a la producción de biomasa fúngica en fermentación sumergida, donde *A. niger* asimila las fuentes de carbono aportadas por la glucosa y por los residuos de cebolla, y favorecen la producción de células.

Cinética de azúcares totales y reductores

Los residuos de cebolla están constituidos por un alto contenido de azúcares solubles (monómeros y disacáridos) (Mashad *et al.*, 2019) y un bajo contenido de lignina (Kim *et al.*, 2017). Cho *et al.*, (2021), mencionaron que las primeras fuentes de sustrato disponibles en la cáscara de cebolla son los azúcares

disueltos (glucosa, fructosa y sacarosa), monosacáridos importantes en el proceso de fermentación.

En la figura 15 se muestran los resultados del consumo de sustrato en función del tiempo de fermentación sumergida. A medida que transcurren las horas de fermentación, se observa que el microorganismo es capaz de consumir los azúcares presentes en el medio de cultivo, comenzando con 655.1 mg/kg ms de azúcares totales y 945.7 mg/kg ms de azúcares reductores, hasta alcanzar su valor mínimo a las 240 horas. La importante disminución de azúcares se debe a que el metabolismo del microorganismo aprovecha las fuentes de carbono fácilmente asimilables disponibles en el medio.

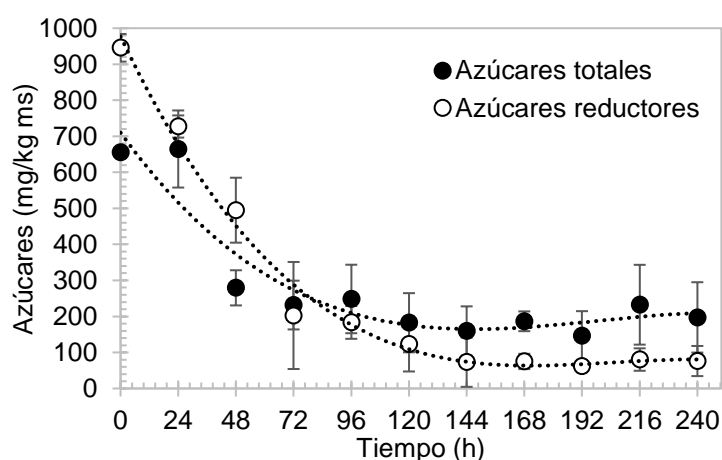


Figura 15. Cinética de consumo de azúcares totales y reductores durante el proceso de SmF.

El microorganismo tiene la capacidad enzimática de agotar la glucosa como azúcar monomérico fácilmente asimilable y posteriormente degradar sustratos complejos de residuos de cebolla en compuestos simples, obteniendo así mayor energía para el crecimiento celular. Estas enzimas (celulolíticas, xilanolíticas y pectinolíticas) realizan funciones de degradación de la pared celular y catalizan la descomposición de carbohidratos complejos en sus componentes monosacáridos (Choi *et al.*, 2015b).

Los azúcares totales y reductores parecen ser una buena fuente de materia prima para su uso en SmF, permitiendo la liberación y recuperación de potentes antioxidantes fenólicos del residuo de cebolla. La cepa es capaz de metabolizar los carbohidratos presentes en los residuos de cebolla para su crecimiento y función metabólica (Tope *et al.*, 2019).

Cinética de los fenoles hidrolizables totales

Los THP muestran una concentración máxima de 14.4 mg GAE/g ms en 120 horas, (figura 16). En base a los resultados descritos en los gráficos, el microorganismo permite la liberación de compuestos fenólicos. Nutongkaew *et al.*, (2019), menciona que las enzimas pueden degradar o transformar compuestos complejos, en metabolitos que pueden ser utilizados en diversas industrias.

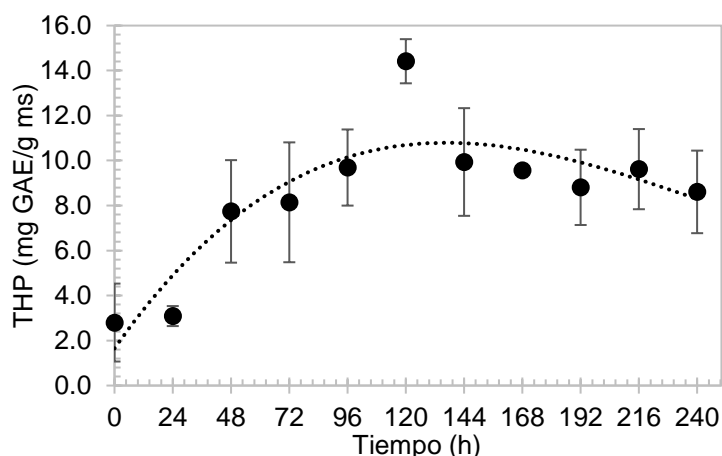


Figura 16. Comportamiento cinético de los fenoles hidrolizables totales durante el proceso de SmF.

Los residuos de cebolla parecen ser una buena fuente de materia prima para la SmF, permitiendo la liberación de compuestos fenólicos. Esto demuestra que el microorganismo es capaz de degradar los polisacáridos de la pared celular de la planta y como resultado entregar compuestos fenólicos (Patyshakuliyeva *et al.*, 2016). La obtención del producto de interés depende generalmente del tipo de sustrato y del microorganismo utilizado.

Cinética de flavonoides totales

La cebolla se encuentra entre las fuentes vegetales más ricas en flavonoides, donde sus compuestos polifenólicos consisten en flavonoles, característicos de las variedades de cebolla (Cebin *et al.*, 2020). Los flavonoles predominantes son la quercetina y sus glucósidos, que representan hasta el 80% del total de flavonoides (Pucciarini *et al.*, 2019).

Los resultados mostraron que de 0 a 240 horas, el contenido total de flavonoides aumentó exponencialmente. El mayor contenido de flavonoides totales se obtuvo a las 240 horas, con una concentración de 4.1 mg QE/g ms, (figura 17). Estos valores indican que el microorganismo tiene la capacidad de

producir compuestos bioactivos a través de SmF y esto se debe a la liberación de enzimas por parte del microorganismo, que ayudan a romper las paredes celulares de los residuos de cebolla, lo que resulta en un mayor contenido de compuestos fenólicos.

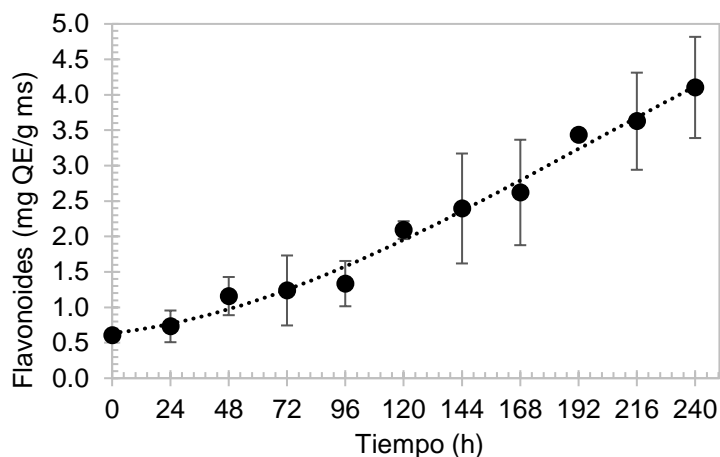


Figura 17. Comportamiento cinético de los flavonoides totales durante el proceso de SmF.

Es decir, a través de la escisión enzimática del sustrato, permite el aumento del contenido de flavonoides por SmF (Lee *et al.*, 2016). Sin embargo, ningún estudio previo ha investigado exhaustivamente los cambios específicos en la composición de flavonoides durante la fermentación. Mientras tanto, Choi *et al.*, (2015a) observaron que después de la hidrólisis enzimática, el porcentaje de quercetina en el extracto de piel de cebolla alcanzó hasta 1.61 veces, siendo superior al valor obtenido por extracción química de una muestra no tratada.

Este estudio demuestra que el uso de la tecnología de fermentación sumergida puede aumentar la concentración de flavonoides totales. La capa externa de la cebolla se considera un residuo que puede utilizarse para obtener diversos compuestos como la quercetina (Kimoto-Nira *et al.*, 2019). También se ha demostrado que estos residuos, especialmente en la parte externa, forman un alto contenido de flavonoides, seguido de una disminución continua hacia la parte interna (Fredotović *et al.*, 2021).

Cinética de la capacidad antioxidante

El exceso de radicales libres es uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de diversas enfermedades. Las cáscaras de cebolla son ricas en fenólicos con una prometedora actividad antioxidante y de eliminación de

radicales libres y capacidad para proporcionar protección contra el daño del ADN causado por el oxígeno activo (Lee *et al.*, 2014).

La figura 18 muestra la cinética de la actividad antioxidante, inicialmente a una concentración de 51.16 mM TE/g ms. Con el tiempo, la actividad antioxidante disminuyó a las 168 horas, lo que se atribuyó al pequeño número de biomoléculas con capacidad antirradical. También se relaciona que en las primeras horas *A. niger* sufre un proceso de adaptación de ahí que disminuya la capacidad antioxidante. Posteriormente, se observó un aumento de 51.4 mM TE/g ms hasta las 240 horas, lo que indica que *A. niger* tiene la capacidad de producir compuestos fenólicos con capacidad antioxidante en la degradación del residuo de cebolla, como el ácido gálico.

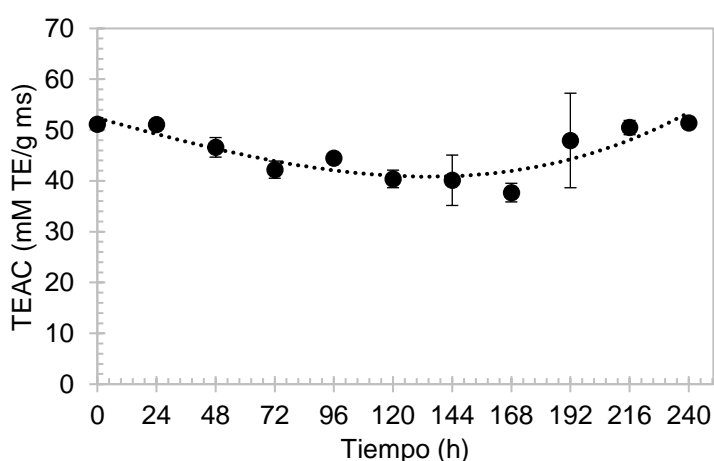


Figura 18. Comportamiento cinético de la capacidad antioxidante durante el proceso de SmF.

En comparación con los resultados de Minh, (2019) la fermentación de cebolla roja inoculada con *Lactobacillus plantarum*, presentó un resultado positivo. Otros autores reportan actividad de barrido de radicales en cebolla fermentada por *A. kawachii*, sin embargo, el resultado no fue significativo (Yang *et al.*, 2012).

Estos estudios muestran claramente que la fermentación mejora el efecto de la actividad antioxidante de la cebolla. Según los informes, este efecto se debe al aumento del grupo hidroxilo libre causado por la hidrólisis durante la fermentación de la cebolla (Lee *et al.*, 2016).

En consecuencia, la fermentación sumergida aumentó positivamente el efecto antioxidante. En concreto, el extracto de residuos de cebolla es rico en

compuestos fenólicos, con función antioxidante al eliminar los radicales libres, por lo que tiene un alto valor nutricional y una potencial actividad biológica.

Cinética de aminoácidos totales

Los aminoácidos y los compuestos volátiles son en gran medida responsables del sabor único del extracto fermentado de cebolla. Los aminoácidos son precursores importantes de compuestos volátiles de sabor o como aminoácidos libres que contribuyen al sabor (Cheng *et al.*, 2014).

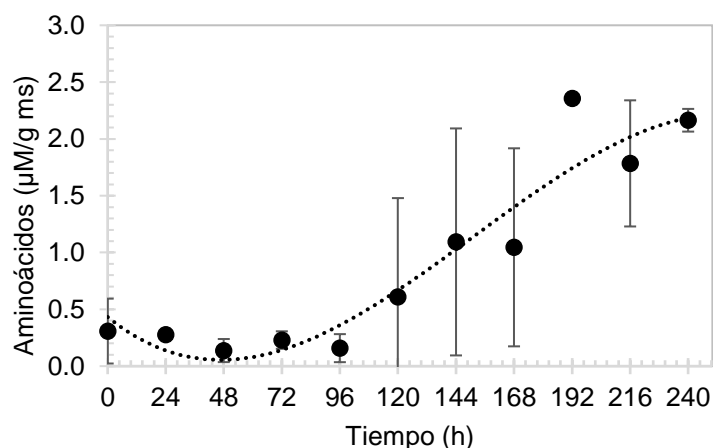


Figura 19. Comportamiento cinético de los aminoácidos totales durante el proceso de SmF.

El contenido total de aminoácidos mostró una tendencia creciente durante el proceso de fermentación, figura 19. A partir de una concentración de 0.31 $\mu\text{M/g ms}$, el nivel de concentración no aumentó hasta las 96 horas, y luego hasta las 240 horas, el contenido de aminoácidos totales mostró una concentración exponencial de 2.16 $\mu\text{M/g ms}$, siendo el término del proceso de fermentación. El aumento en el contenido total de aminoácidos durante la fermentación se debe a que el microorganismo permite que la actividad proteasa catalice la conversión de proteínas, aumentando así los niveles de aminoácidos (Cheng *et al.*, 2014). Estudios han informado contenidos y composiciones de aminoácidos libres, siendo la glutamina y la arginina los principales aminoácidos presentes en la cebolla (Fredotović *et al.*, 2020). Lee *et al.*, 2009 concluyó que el contenido de glutamina y la arginina representan más del 40% de la cantidad total de aminoácidos libres. El mayor contenido de aminoácidos en el extracto fermentado refleja el rico contenido de nutrientes del propio residuo de cebolla. Estas propiedades beneficiosas han llevado al desarrollo de compuestos bioactivos de alto valor.

Cinética de Alicina

Los subproductos de la cebolla contienen varios compuestos bioactivos y son una de las fuentes más importantes de compuestos organosulfurados, incluidos los tiosulfatos, la mayor parte de los cuales es alicina (Moreno-Ortega *et al.*, 2019). En cuanto al sabor o picante, los compuestos de azufre son los responsables del olor característico (Sagar *et al.*, 2022).

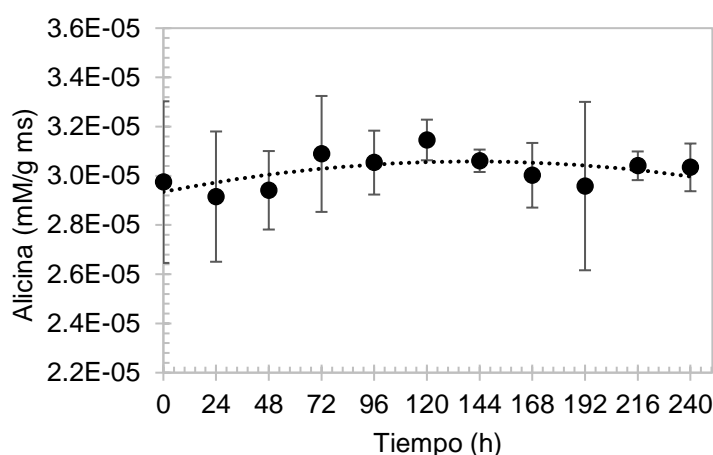


Figura 20. Comportamiento cinético de la alicina durante el proceso de SmF. Como se muestra en la figura 20, el extracto fermentado contiene una cantidad muy pequeña de alicina durante el proceso de fermentación, con un contenido específico de 2.97×10^{-5} mM/g ms al inicio del proceso. Después de 24 horas de fermentación, el contenido de alicina disminuyó ligeramente (2.92×10^{-5} mM/g ms). Con el tiempo, el contenido de alicina mostró una tendencia creciente hasta alcanzar la concentración máxima de 3.15×10^{-5} mM/g ms después de 120 horas. A esto le sigue una disminución y un pequeño aumento a las 192 y 240 horas, respectivamente. La síntesis de alicina implica la ruptura de células durante la fermentación microbiana, en la que se libera la enzima aliinasa e interactúa con el compuesto aliina. Sin embargo, este compuesto es volátil y por lo tanto presenta inestabilidad durante la fermentación, ya que la alicina formada se degrada bajo la influencia de enzimas y rápidamente forman una serie de compuestos que reaccionan entre sí para producir otros compuestos que contienen azufre, incluidos metiína (S-metil-L-cisteína-sulfóxido), propiína (S-propil-L-cisteína-sulfóxido) e isoalliína (trans- (+)-S-(1-propenil)-L-cisteína-sulfóxido) (Guillamón, 2018). Estos análogos de alicina son estables y muestran una correlación positiva entre la concentración de alicina y mayores

propiedades antioxidantes e actividad antifúngica (Vuković *et al.*, 2023; Zhou *et al.*, 2015).

El hongo *A. niger* realiza su función metabólica utilizando residuos de cebolla, al mismo tiempo se considera que tiene un buen efecto de soporte y también es un excelente sustrato para el crecimiento microbiano.

El proceso de fermentación fúngica permitió la biotransformación de los residuos de cebolla en compuestos con actividad antioxidante, que permitirán actuar al extracto de fermentación, por lo tanto, este material de desecho es una fuente potencial de compuestos bioactivos, siendo una alternativa para la producción a gran escala y aplicación en industrias.

Actividad antifúngica

Con base a la máxima concentración fenólica (14.4 mg GAE/g ms durante 120 horas) del extracto fermentado de cebolla obtenida según la cinética de fermentación (figura 16), se utilizó respecto su potencial para inhibir el desarrollo de *Rhizopus stolonifer* y *Aspergillus niger*.

Para *Rhizopus Stolonifer*, el aumento en la concentración del extracto mostró efecto antifúngico ante el crecimiento micelial del hongo, el cual fue monitoreado cada 12 horas hasta el término de la evaluación. Cuando la concentración de extracto de cebolla fermentado fue de 5000 mgL⁻¹, la tasa de inhibición contra *Rhizopus stolonifer* fue del 70.6 %, que fue significativamente diferente a las concentraciones de 3500 y 2500 mgL⁻¹, con un porcentaje de inhibición de 60% y 59.6%, respectivamente. El que mostró un efecto inhibitorio por menor del 50% fue en la de 1500 mgL⁻¹, donde el resultado fue de 30.4%, y en particular, donde no mostró efecto en el crecimiento fúngico fue la concentración de 500 mgL⁻¹, figura 21.

El resultado es consistente con lo reportado por Un-Nisa *et al.*, (2010), quienes demostraron que al aumentar la concentración de extracto de cebolla, este tuvo un mayor efecto inhibitorio sobre la germinación de las esporas de *Rhizopus stolonifer*. Rivas *et al.*, (2019) también obtuvieron el efecto inhibitorio de *Salmonella typhi* en diferentes concentraciones del extracto de cebolla. Otros autores han indicado que el extracto tiene la capacidad de inhibir hongos como *G. trabeum*, *T. versicolor*, y *R. placenta* (Barbero-López, 2020).

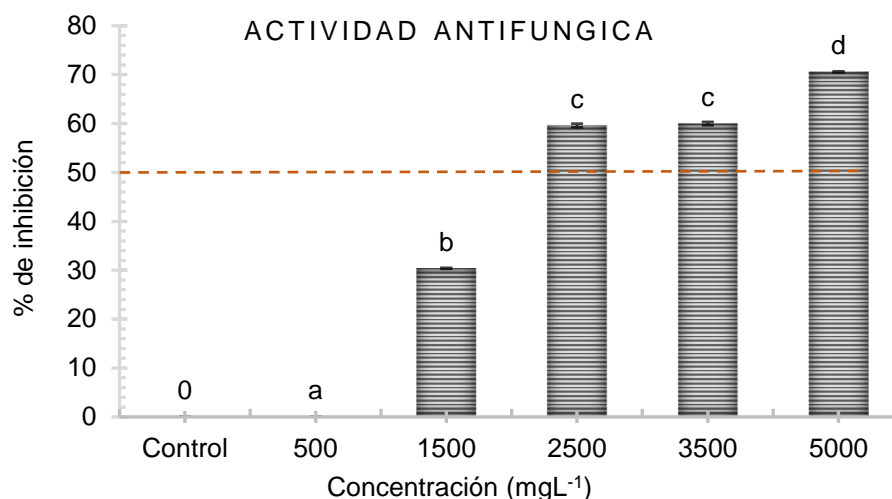


Figura 21. Efecto antifúngico expresado en porcentaje (%) de inhibición contra *Rhizopus stolonifer*. Las letras sobre las barras indican si existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

Aspergillus niger es un hongo que no mostró sensibilidad a la inhibición, donde los tratamientos con diferentes concentraciones de extracto fermentado mostraron baja actividad antifúngica del microorganismo. Al inicio pudo ser medible y, conforme avanza el periodo de incubación su medición no pudo ser cuantificado debido a que el hongo es muy esporulado, por lo que su crecimiento no fue homogéneo. Se considera que el efecto no inhibidor del microorganismo es que el extracto proporciona condiciones adecuadas para su crecimiento, tales como su alimentación y tolerancia en el medio, cuadro 9.

Esto coincide con lo encontrado por Škerget *et al.*, 2009, donde el crecimiento de *A. niger* fue inferior o no fue inhibido por los extractos de la parte comestible de la cebolla. Sin embargo, también se realizaron ensayos con extractos de piel de cebolla, mostrando buena actividad antifúngica contra el mismo hongo, inhibiendo el crecimiento hasta un 35.6 %. Mardani *et al.*, 2023 utilizaron diferentes variedades de cebolla (Noshahr, Neyshabor, Kahrizak y Dorche) y encontraron que los extractos de cebolla mostraron una buena actividad antifúngica contra *Aspergillus niger* con una concentración mínima inhibitoria de 7 mg/ml.

Cuadro 9. Efecto antifúngico expresado en porcentaje (%) de inhibición contra *Aspergillus niger*

Concentración de EF (mgL ⁻¹)	% de inhibición 24 h	% de inhibición 36 h
Control	0.0	0.0
500	6.5 ± 0.1 ^a	n.d.
1500	21.7 ± 0.2 ^a	n.d.
2500	29.3 ± 0.1 ^a	17.3 ± 0.1 ^a
3500	14.1 ± 0.2 ^a	7.4 ± 0.3 ^a
5000	18.5 ± 0.2 ^a	11.1 ± 0.2 ^a

n.d.: no detectado. Los valores con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Los resultados de la actividad antifúngica del extracto de cebolla fermentado reflejan que a una concentración de 2500 mgL⁻¹ en *Rhizopus Stolonifer* es la concentración mínima requerida para inhibir el patógeno en al menos un 50 % (Jasso de Rodríguez *et al.*, 2017). A diferencia de *Aspergillus niger*, muestra una baja inhibición en todas las concentraciones.

Según esta investigación, se puede concluir que el extracto de cebolla fermentado es una excelente fuente de compuestos bioactivos con buen efecto inhibidor para cierto tipo de microorganismo. Esto resulta interesante porque el hongo puede ser controlado con extractos naturales, que son microorganismos presentes en las etapas de pre y postcosecha del tomate (Jasso de Rodríguez *et al.*, 2017). Para presentar la aplicación del extracto rico en polifenoles obtenidos de fuentes naturales, se evaluó su actividad antifúngica contra dos hongos, demostrando que el material tiene propiedades suficientes para ser utilizado como aditivo conservante de alimentos en las actuales formulaciones.

En ausencia de propiedades antimicrobianas, los recubrimientos comestibles basados en polisacáridos pueden acelerar el deterioro biológico dado a ser muy susceptibles al desarrollo microbiano, especialmente cuando se relacionan con los alimentos. El extracto de cebolla fermentado (EF) se obtiene a partir de desechos de cebolla que contienen compuestos polifenólicos con gran variedad de propiedades biológicas, que incluyen buenas funciones antimicrobianas y antioxidantes (Wianowska *et al.*, 2022).

Estos compuestos pueden acceder en las paredes celulares del microorganismo adhiriéndose a la capa proteica, inactivando así su función (İpek *et al.*, 2023).

Los extractos naturales son una alternativa en el control de hongos fitopatógenos, que afectan al tomate antes y después de la cosecha. El uso del antioxidante como aditivo en matrices poliméricas para su funcionalización es una propuesta favorable para la conservación de alimentos durante el procesamiento y almacenaje

Desarrollo de recubrimientos comestible y funcional a base de mucílago de chía

Extracción y procesamiento de los polisacáridos (*Salvia hispanica* L.)

Las condiciones de operación para la extracción de mucílago de chía en la parte de hidratación (37 °C por 2 h), el tiempo y la temperatura permitió una hidratación completa. En la literatura de Hernández *et al.*, 2019; Muñoz *et al.*, 2012b indican que el tiempo y temperatura de hidratación afectaron significativamente el rendimiento; a 37 °C, después de 2 h de hidratación, el mucílago extraído aumentó y alcanzó el peso total de las semillas, completando la absorción de agua. La trituración de las semillas a velocidad media de 3 segundo, permitió la separación del mucílago de la semilla, ya que si se elige un tiempo mayor las partículas de las semillas influirá mucho en la opacidad del recubrimiento y su aplicación en el fruto. En el proceso de extracción que es la etapa de centrifugado (5000 rpm/ 10 minuto) asegura una mejor separación del pericarpio y evitando así partículas no deseadas. En condiciones de esterilización se presenciaron pequeñas burbujas de aire en el polisacárido (especialmente alginato de sodio); estas condiciones pueden influir en la estructura de su posterior formación del recubrimiento y por tanto la preservación del fruto, a diferencia del mucílago de chía que no tiene este efecto. Esto se debe a que la alta temperatura hace que el material sea susceptible a la despolimerización (Alipour *et al.*, 2022). Sin embargo, a veces es necesario el tratamiento térmico porque la preparación debe permanecer en condiciones suficientes para ser utilizada en alimentos (Ferreira *et al.*, 2023).

Funcionalización de recubrimiento comestible

Todos los parámetros evaluados se tomaron en cuenta, derivando desde la caracterización de los residuos de cebolla, donde se determinó el potencial del material para ser aprovechado como sustrato en el proceso de fermentación, etapa en la que, se obtuvieron diferentes parámetros como fenoles totales, actividad antioxidante y flavonoides totales, entre otros que pueden estar asociados a su actividad antifúngica y antioxidante. Los resultados mostraron al EF tiene buen potencial de compuestos fenólicos, además de ser un efecto inhibidor sobre el desarrollo de la cepa evaluada (*Rhizopus stolonifer*), sin descartar su posterior aplicación como antifúngico. La funcionalización del recubrimiento comestible se logró con la incorporación del extracto fermentado de cebolla (EF) en una concentración de 2500 mgL⁻¹. La concentración fue seleccionada a partir de que se obtuvo en ello más del 50% de inhibición in vitro de *Rhizopus stolonifer* (figura 21), prolongando así la vida útil del alimento.

Aplicación de recubrimiento comestible

La aplicación del recubrimiento comestible por inmersión demostró que la solución polimérica presentó una buena distribución y uniformidad en el fruto de tomate, ya que la viscosidad de la solución es importante. Cuando se retira y se pasa por un medio estabilizante, el recubrimiento resultante le otorga una mejor apariencia, brillo y resistencia del material al tomate, a la vez que protege el contenido y evita pérdidas durante el almacenamiento. Después de eliminar el exceso de humedad, se observó que el material tenía buena formación, adhesión y resistencia, pero también había algunas burbujas de aire, las cuales eran menos visibles cuando el material tenía humedad. Estas irregularidades en las cubiertas comestibles hacen que la superficie sea desigual y porosa, ya que una envoltura irregular puede dar lugar a la presencia de cavidades superficiales y/o profundas en su estructura, haciéndola propensa a desprendimientos, también señalan que estas características del material de recubrimiento dificultarán la formación de enlaces fuertes (Rattan et al., 2015; Rueda, 2019). Esto se debe al tratamiento térmico aplicado, donde la despolimerización crea una estructura más abierta del recubrimiento con mayor tamaño de partícula y porosidad, por lo que el material tiende a perder resistencia (Ching et al., 2017). Además, el material

era ligeramente translucido, lo que corresponde a la apariencia de pequeñas partículas de semillas de chía presentes en el mucílago (dato no mostrado), que pueden interferir con la apariencia del fruto.

Postcosecha de tomate

Las pérdidas de tomate postcosecha son un problema importante en los países en desarrollo, ya que causan pérdidas económicas a los agricultores, los mercados e incluso a los consumidores. Investigaciones han buscado nuevos enfoques para mejorar la vida útil de los productos agrícolas y mantener los atributos de calidad después de la cosecha. Recientemente, la formación de recubrimientos comestibles y el uso de aditivos han mostrado interés en la protección de los alimentos frente a daños biológicos, químicos y físicos. Ayudan a preservar el sabor y el aroma de los alimentos al otorgar propiedades antioxidantes e inhibir el crecimiento microbiano. El estudio evaluó los efectos de la temperatura y el recubrimiento comestible adicionado con EF aplicado sobre los frutos de tomate con la finalidad de prolongar su vida útil. Los resultados experimentales muestran que los tratamientos (control, RC y RC+EF) y la temperatura afectan significativamente la pérdida de peso, firmeza, SST, pH y parámetros $L^*a^*b^*$.

Pérdida de peso fisiológica

El tomate es un fruto perecedero, cuyo proceso de maduración se alcanza poco tiempo después de la cosecha, teniendo un periodo de vida corta. Un enfoque alternativo para reducir la pérdida de calidad y prolongar la vida útil del fruto, son los recubrimientos comestibles, debido a su fácil adopción, al ser de tecnología simple, de bajo costo y amigable con el medio ambiente (Abebe *et al.*, 2017).

El peso es un atributo importante en la calidad del tomate, y un factor que interfiere en las propiedades de los frutos frescos, es la pérdida de peso, que se asocia con la pérdida de agua durante los procesos metabólicos a través de la respiración y la transpiración, lo que resulta en la pérdida de turgencia (Abebe *et al.*, 2017; Pinheiro *et al.*, 2013). Se determinó el porcentaje de pérdida de peso en los frutos almacenados a 25 °C, figura 22. El resultado mostró diferencia significativa entre los tratamientos, donde la pérdida de peso fue mayor en los frutos tratados con RC+EF (17.7%) ($p < 0.05$, Anexo 1). En comparación con RC, que mostró menor pérdida de peso (16.2%). Seguido

del Testigo, también al presentar resultados más inferiores a los demás tratamientos (7.3%). El tratamiento Testigos muestra mejores resultados en cuanto a menor pérdida de peso, con una diferencia significativa con respecto a los frutos tratados con RC y RC+EF, donde estos no muestran diferencias significativas durante el almacenamiento ($p < 0.05$, Anexo 1, figura 22). Asimismo, la pérdida de peso rebasó el 10 % a partir del día 6 de almacenamiento en frutos con RC y RC+EF, mientras que para el tratamiento Testigo no superó el porcentaje de pérdida durante el periodo de almacenamiento.

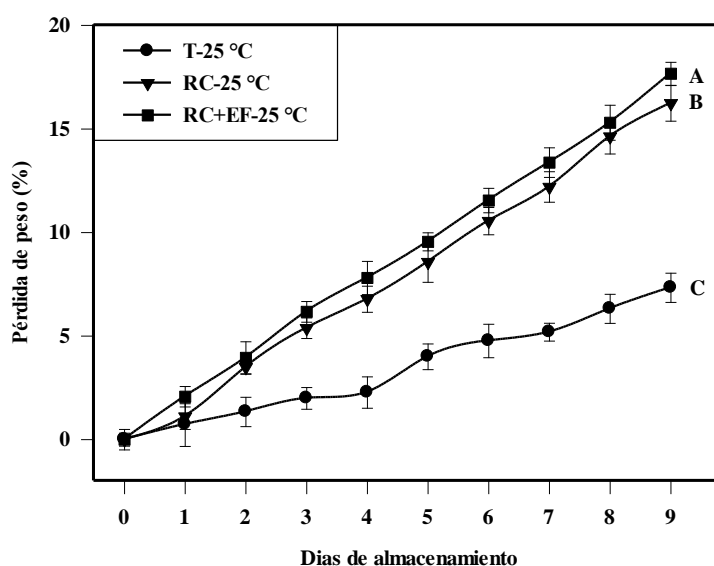


Figura 22. Pérdida de peso expresado en porcentaje (%) en frutos de tomates durante su almacenamiento postcosecha bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 25 °C. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

La figura 23 muestra los resultados en los frutos almacenados a 35 °C, donde presentan diferencias significativas entre los tratamientos. La pérdida de peso fue menor el en Testigo (13.8%), en comparación del fruto tratado con RC (17.1%) al mostrar mayor pérdida ($p < 0.05$, anexo 2). En cambio, mayor diferencia significativa se mostró con el del RC+EF (30.7%), al indicar mayor pérdida de peso a los demás tratamientos en su periodo de almacenamiento. Además, un % de pérdida de peso superior al 10 % se mostró a los 7, 6 y 3 días, en los tratamientos Testigo, RC y RC+EF, respectivamente.

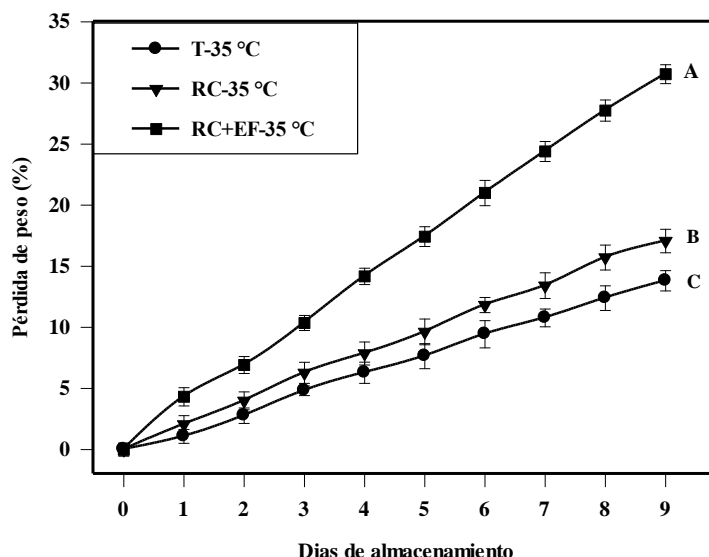


Figura 23. Pérdida de peso expresado en porcentaje (%) en frutos de tomates durante su almacenamiento postcosecha bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 35 °C. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

El almacenamiento a altas temperaturas acelera la vida útil de los frutos, encontrando un porcentaje de pérdida de peso mayor en los tomates tratados con RC (43.8%), mostrando una diferencia significativa ($p \leq 0.05$, anexo 3, figura 24). Donde también se encontró una diferencia significativa es en el tratamiento RC+EF ($p < 0.05$, figura 24), manifestando un porcentaje de pérdida de peso de 39.3% al día 9. No obstante, el fruto Testigo presenta mejores resultados, con una pérdida de peso de 34.6%. Los tratamientos alcanzaron su periodo de vida al día 2 en el fruto tratado con RC y a partir del día 3 en frutos con RC+EF y Testigo.

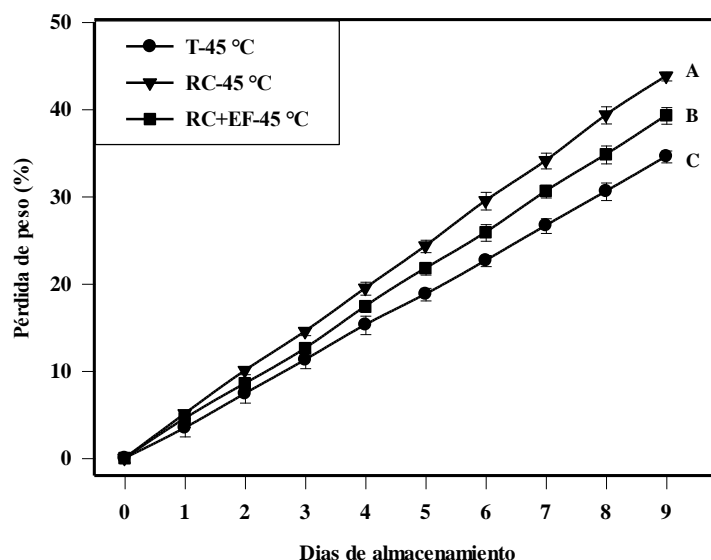


Figura 24. Pérdida de peso expresado en porcentaje (%) en frutos de tomates durante su almacenamiento postcosecha bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento a 45 °C. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

Es un hecho que se puede observar una notable pérdida de peso en los productos perecederos, donde al prolongar el período y las condiciones de almacenamiento influyen en el hecho de una mayor y menor porcentaje de pérdida de peso en los tratamientos. Estas diferencias se atribuyen a que el almacenamiento a temperaturas más bajas conserva mejor la calidad del fruto, en lugar de temperaturas más altas, que llevan a mayor pérdida de agua, aceleran el proceso de transpiración, respiración, la producción del etileno que conducen a la marchitez y pérdida de peso del tomate (Al-Dairi *et al.*, 2021b; Al-Dairi & Pathare, 2021). En general, una pérdida de peso del 10% se considera el final de la vida útil de las frutas y verduras frescas (Kale & Nath, 2018). Yahia *et al.*, 2007 informaron que la exposición de los frutos a temperaturas superiores de 30 a 40 °C la maduración del tomate muestran una disfunción fisiológica. Así como las altas temperaturas causan estrés, también conducen a la destrucción de tejidos y disfunción fisiológica, lo que resulta en una reducción de la calidad del fruto. Independientemente de la temperatura de almacenamiento, en general los tomates Testigo tuvieron un menor porcentaje de pérdida de peso, contrario a los frutos tratados RC, en

los que el recubrimiento formado a base de polisacárido activó más el proceso de maduración. Sin embargo, también fue desfavorable para los tomates tratados con RC+EF, que aceleró aún más su proceso de maduración, mostrando mayor pérdida de peso en relación con demás tratamientos. Un efecto similar fue encontrado en el estudio de (Arroyo *et al.*, 2019), que mostró que las guayabas recubiertas con diferentes proporciones de quitosano y alginato mostraron una pérdida de peso significativamente mayor o similar que al grupo control (sin recubrir), incluso con la adición de nanoZnO, no presentaron una propiedad barrera que reduzca la pérdida de agua y en efecto la pérdida de peso en los frutos. La mayor pérdida de peso en los tomates recubiertos en comparación con las no recubiertas puede deberse a una menor resistencia a la transferencia del vapor de agua (Gutiérrez-Jara *et al.*, 2021). La acelerada pérdida de peso también se debe al aumento de la actividad metabólica del fruto, asociado a la senescencia de los tejidos (Pastor *et al.*, 2011). Un posible efecto perjudicial de los recubrimientos comestibles es la alta concentración y exceso del polisacárido, que provocan una gran pérdida de agua porque obstruyen las células respiratorias y alteran la atmosfera de gas interna del producto (Abhirami *et al.*, 2020). La restricción excesiva del intercambio de gases de oxígeno y dióxido de carbono entre la atmosfera y el fruto hasta el punto de que las concentraciones internas de CO₂ son demasiado altas o demasiado bajo de O₂ para soportar una respiración aeróbica, da como resultado propiedades indeseables. En productos recubiertos, esto conduce a niveles altos de acetaldehído como etanol y CO₂ interno (Lin & Zhao, 2007).

Firmeza

La firmeza del fruto es otro determinante en la calidad del alimento y se considera un indicador de calidad final para que el consumidor decida comprar el producto. A medida que avanza la senescencia del fruto, se produce el marchitamiento, acompañado con la pérdida de peso debido a la respiración y a la pérdida de agua (Cherono & Workneh, 2018). Para determinar el efecto del recubrimiento, así como la adición del extracto fermentado en los frutos de tomate, se realizaron mediciones de firmeza.

Se determinó la firmeza de los frutos almacenados a 25 °C. El estudio mostró efectos significativos entre los 3 tratamientos ($p < 0.05$, Anexo 4, figura 25). El

fruto tratado con RC+EF presentó mayor pérdida de firmeza, el valor inicial fue de 6.2 N a 2.5 N al final del almacenamiento, evidentemente la aplicación del tratamiento aceleró el proceso de pérdida de textura. Seguido del tratamiento RC, en la cual presenta 6.2 N de firmeza como valor inicial y 4.4 N al final del almacenamiento. En el testigo presentó una disminución tardía de 6.2 N y 5.3 N al inicio y final del almacenamiento, respectivamente.

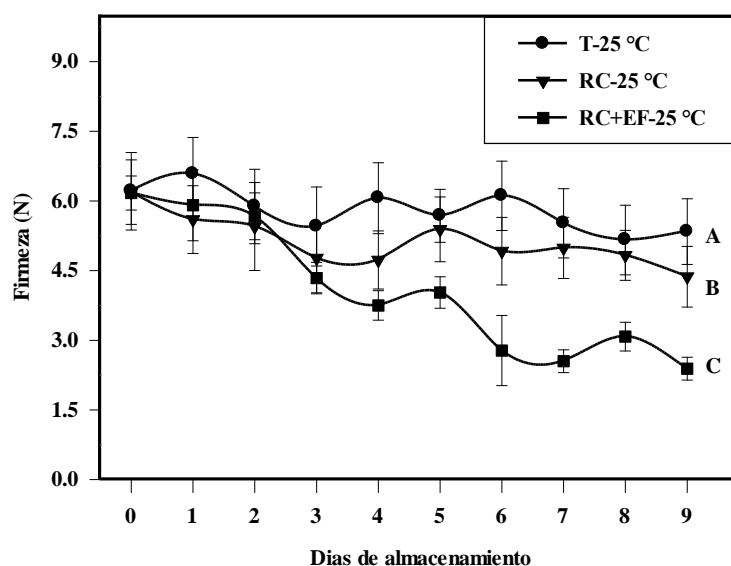


Figura 25. Firmeza en los frutos de tomate expresados en Newtons, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 25 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

La temperatura de almacenamiento es decisiva para la firmeza del fruto. Mostrando mayor pérdida de firmeza en los tratamientos (figura 26). La rápida pérdida de firmeza fue más notable en los frutos tratados con RC+EF y RC, los cuales mostraron un comportamiento similar durante el proceso, alcanzando valores aproximados de 2.5 N al término del almacenamiento, mostrando diferencias significativas respecto al Testigo. A diferencia de los tratamientos anteriores, el tratamiento Testigo mantuvo una menor pérdida de firmeza, la cual, el proceso fue más lento y alcanzó un valor de 4.1 N al final del proceso ($p \leq 0.05$, Anexo 5).

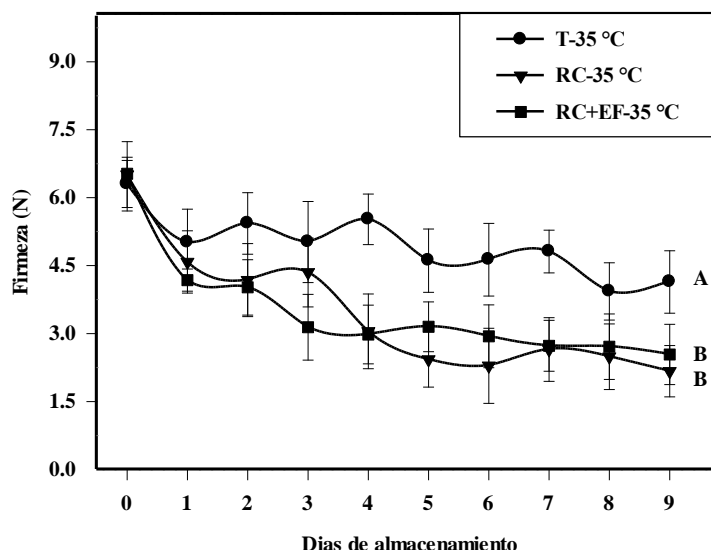


Figura 26. Firmeza en los frutos de tomate expresados en Newtons, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 35 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

El almacenamiento del fruto a mayores temperaturas, reduce aceleradamente la firmeza (figura 27). Asimismo, los tratamientos no fueron significativamente diferentes al Testigo ($p < 0.05$, Anexo 6). Presentando en RC+EF la drástica pérdida de firmeza durante los primeros 2 días. Los tratados con RC se presenció la rápida pérdida en los primeros 3 días. En el Testigo, la pérdida de firmeza fue un poco tardío, hasta el día 4. Posteriormente, en todos los tratamientos, mostraron una tendencia constante de las firmezas hasta el final del almacenamiento, con un término del ablandamiento de 2 N. Los tratamientos aplicados son decisivos del acelerado pérdida de textura del fruto, así como la temperatura de almacenamiento condujo la excesiva perdida de humedad.

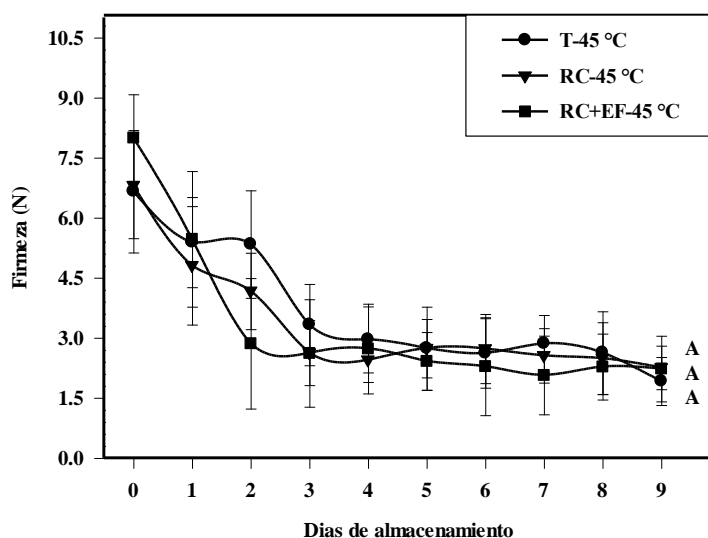


Figura 27. Firmeza en los frutos de tomate expresados en Newtons, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 45 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

En general, la firmeza de los frutos mostró valores decrecientes a diferentes temperaturas, donde la degradación de los polisacáridos fue más lenta a temperaturas menores, a diferencia de las temperaturas más altas, en la cual, la pérdida de firmeza fue más acelerada. Las condiciones de almacenamiento, como es a altas temperaturas conllevan a la reducción continua de la firmeza del fruto, debido a la degradación de la pectina, la celulosa y la lignina por parte de las actividades enzimáticas pectinesterasa (PE), la poligalacturonasa (PG) y la β -galacturosa (β -gal) en las paredes celulares. La acción de estas enzimas dirige a un efecto significativo en el ablandamiento del tejido debido a la degradación de las paredes celulares de la cáscara del fruto y los polisacáridos durante el proceso de maduración, dando lugar a la harinosidad (Cherono & Workneh, 2018). El ablandamiento y la disminución de peso de los frutos está relacionado con la pérdida de biomasa, una de las características indeseables para los consumidores debido a la pérdida de frescura del fruto (Kumar & Saini, 2021). El tratamiento también incide en el ablandamiento de los tejidos del fruto. El recubrimiento es un material hidrofílico y es un factor que puede contribuir a la alta tasa de transpiración de

los frutos recubiertos (Arroyo et al., 2019). Los recubrimientos con EF tienen un efecto limitado a la hora de retrasar el proceso de maduración, con la presencia de aditivo en estos recubrimientos puede alterar la estructura del polímero, provocando una mayor pérdida de firmeza en los tomates cubiertos, reduciendo así su eficacia en los parámetros de calidad del tomate.

Sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles totales (SST) ejercen un papel importante en el sabor de los tomates y es un indicador aproximado del contenido de azúcar en el fruto. Durante la maduración existe un aumento del contenido, así como una disminución en la senescencia. Constituyendo alrededor del 80-85% de los sólidos solubles (Gharezi *et al.*, 2012).

Al inicio del almacenamiento (figura 28), el fruto con RC+EF presentó mayor contenido de sólidos solubles totales, seguido del Testigo y finalmente el RC. Sin embargo, los tratamientos mostraron diferentes comportamientos en el periodo de almacenamiento. Los frutos tratados con RC tomaron un ligero descenso en el contenido de SST, mostrando una diferencia significativa respecto al Testigo ($p > 0.05$, anexo 7). Los frutos con RC+EF y el Testigo presentaron el valor mas alto en el contenido de SST, mostrando un efecto en los tratamientos durante los 9 días de almacenamiento ($p > 0.05$, anexo 7). Al respecto, los valores presentados en los tratamientos no mostraron un efecto importante en la calidad del fruto, considerando que la temperatura es un factor fundamental. Donde el retraso en la maduración se atribuye posiblemente a la lenta respiración y la actividad metabólica, dando lugar al menor desarrollo del contenido de SST debido a la lenta conversión de polisacáridos en azúcares simples (Gharezi *et al.*, 2012). Además de que el comportamiento de los valores de SST, también puede ser el resultado de la acumulación de ácidos orgánicos, y se reduce a medida que aumenta la madurez, que determinará el sabor característico del tomate (Moreno *et al.*, 2013).

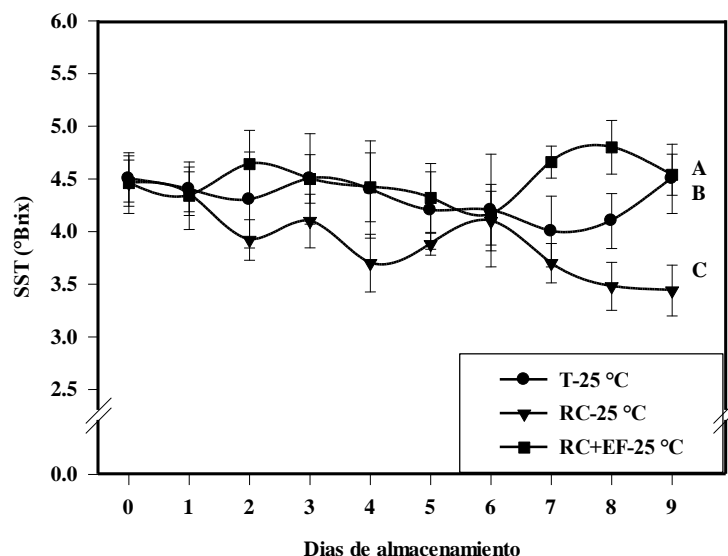


Figura 28. Sólidos solubles totales en los frutos de tomate expresados en °Brix, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 25 ° C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

Los tratamientos almacenados a 35 °C presentaron cambios significativos en el contenido de sólidos solubles totales ($p < 0.05$, anexo 8, figura 29). Sin embargo, el contenido de SST presenta valores crecientes durante el almacenamiento. Mostrando valores acelerados en los tratamientos, con alto contenido de SST en RC, seguido del RC+EF ($p > 0.05$). No obstante, el fruto Testigo presenta valores inferiores en el contenido de SST y fue la muestra con menor desarrollo del parámetro ($p > 0.05$, anexo 8, figura 29). En general, los frutos con recubrimiento funcionalizado (RC+EF) aceleraron el contenido de SST, de la misma forma los tratados solo con recubrimiento comestible (RC), donde el contenido fue mucho mayor en el transcurso del almacenamiento. Se ha determinado que el recubrimiento estimula las actividades metabólicas, como la rápida respiración y la biosíntesis de etileno, acelerando el aumento anormal de los sólidos solubles, lo que promueve la maduración rápida del fruto. Por otro lado, el fruto Testigo expone una lenta digestión de las membranas y las paredes celulares, al mostrar una tardía concentración de sólidos solubles después de 4 días de almacenamiento, donde el proceso de envejecimiento fue relativamente más despacio.

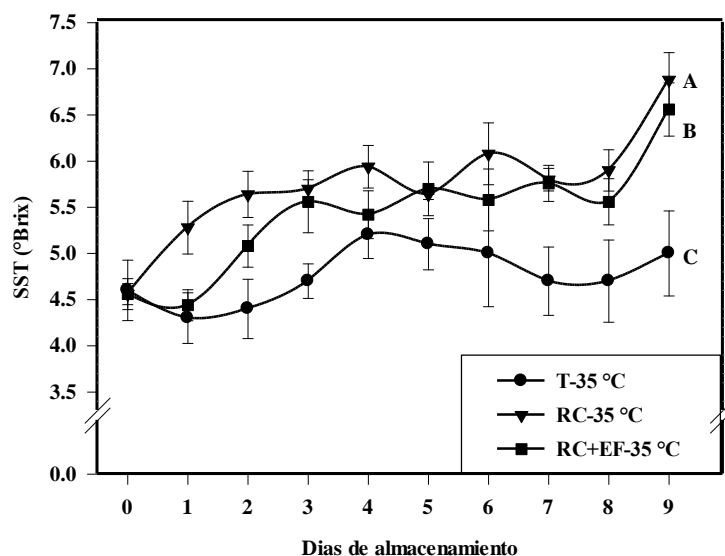


Figura 29. Sólidos solubles totales en los frutos de tomate expresados en ° Brix, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 35 °C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

El aumento acelerado del contenido de SST se manifiesta en los frutos almacenados a 45 °C, donde aumentó progresivamente conforme los días de evaluación, seguido de una estabilidad del contenido después de los 8 días de almacenamiento, de igual modo se encontró cambio significativo en los tratamientos ($p < 0.05$, anexo 9, figura 30). La excesiva pérdida de humedad indicó un mayor contenido de SST del tratamiento RC, al presentar un valor acelerado, el cual fue significativamente diferente a los demás tratamientos ($p > 0.05$, anexo 9). Además, el contenido acelerado de SST en RC+EF y Testigo fueron los tratamientos con menor desarrollo del parámetro, así mismo, no hubo diferencia significativa entre ellos ($p < 0.05$, anexo 9). Se determina que la aplicación de recubrimiento comestible (RC) sobre el fruto, así como la temperatura, fueron responsables del efecto acelerado y mayor contenido de SST. Gráficamente, los tratados con RC+EF y Testigo presentan conductas similares, sin embargo, se considera que la muestra Testigo tuvo la libertad de desarrollarse propiamente, dado al no recibir algún tratamiento, a diferencia del RC+EF, donde, la forma que adopta se debe al agrietamiento del recubrimiento desde inicios del almacenamiento, puesto que al exponerse

el fruto directo con la temperatura, permitió un desarrollo similar al Testigo en su contenido de SST, además, se establece que la temperatura y la incorporación del extracto fermentado (EF) en la matriz polimérica fueron factores decisivos en la rotura del recubrimiento.

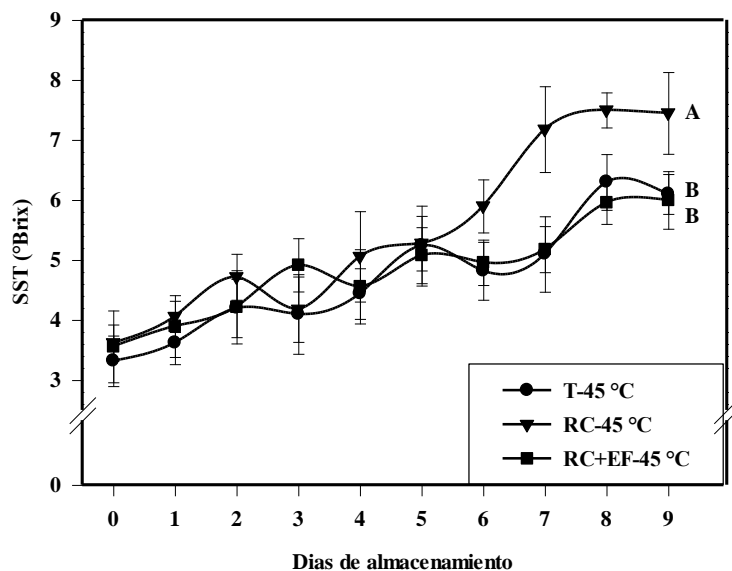


Figura 30. Sólidos solubles totales en los frutos de tomate expresados en °Brix, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 45 °C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

Fischer & Martinez, 1999; Abebe *et al.*, 2017; Abhirami *et al.*, 2020 afirman que, los frutos alcanzan la madurez fisiológica al presentar su mayor contenido de azúcares, y que una disminución se debe a la descomposición de diversos polisacáridos que compone la pared celular, como la pectina, la hemicelulosa y otras conversiones de ácidos orgánicos, la hidrólisis parcial de proteínas y de los glucósidos en subunidades durante la respiración, causando el agotamiento de los azúcares y la senescencia del fruto. El aumento en el contenido de SST durante el almacenamiento está relacionado con la pérdida de contenido de agua. Al respecto, la presencia de los niveles más altos de SST en los frutos recubiertos (RC) pueden deberse a la modificación en la atmosfera interna, como la barrera protectora de O₂, al reducir la disponibilidad de oxígeno en la superficie del fruto e inhibir la respiración (Abbasi *et al.*, 2009). Draget *et al.*, 1997 mencionó que la

aplicación de tratamientos térmicos favorece al material polimérico a ser susceptible a diversos procesos de despolimerización. Así, la presencia de una deshidratación completa del recubrimiento propicia a la degradación de su estructura y limita la eficacia de la matriz, provocando el agrietamiento del recubrimiento (George & Abraham, 2006).

pH

El pH del tomate es un parámetro influenciado por el estado de madurez y el contenido de ácido del fruto. En general, el pH es utilizado como un indicador en la tasa de deterioro, donde se puede inferir que las muestras con un pH más alto están más cerca de la senescencia (Cherono *et al.*, 2018). El valor de pH es una medida para evaluar la concentración real de los iones H^+ en cualquier solución acuosa, por lo que un valor de pH alto indica una concentración baja de iones H^+ y viceversa (Moreno *et al.*, 2013). Por lo tanto, es importante observar si los tratamientos ejercen algún efecto sobre estos valores.

Los frutos almacenados a 25 °C mostraron valores ligeramente ascendentes en el pH (figura 31). Con una diferencia significativa se encontró en el fruto tratado con RC+EF, presentando mayor valor en el pH (4.2) durante el almacenamiento. Donde no se encontró un efecto significativo fue en los frutos tratados con RC (4.08) y el Testigo (4.07), al exponer valores menores en el contenido de pH durante el proceso ($p < 0.05$, anexo 10, figura 31).

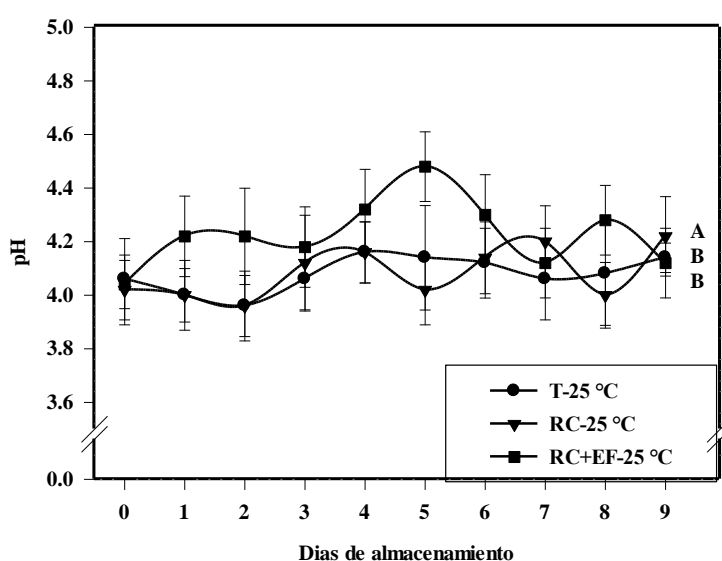


Figura 31. Valores de pH del fruto de tomate, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 25 °C en diferente tratamiento. Las líneas

muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

La figura 32 muestra el mismo efecto, presentando un rápido aumento del pH, sin diferencias significativas en los tratamientos (Testigo, RC y RC+EF) ($p > 0.05$, anexo 11). Los tratamientos mostraron valores ascendentes durante los días de almacenamiento, además de presentar un contenido en el pH de 4.26. No obstante, la temperatura permite una rápida madurez de los frutos.

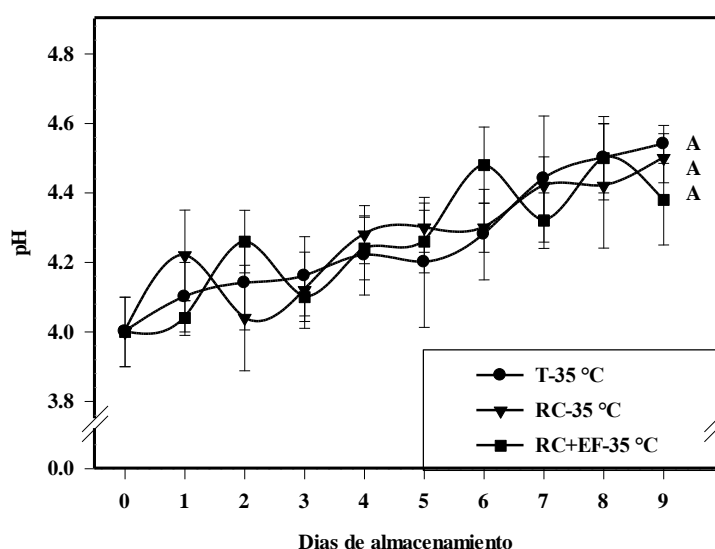


Figura 32. Valores de pH del fruto de tomate, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 35 °C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

El pH se ve afectado por la alta temperatura, así como los tratamientos muestran distintos comportamientos durante el transcurso. Entre ellos, el Testigo presenta una conducta ligeramente ascendente, es decir, el parámetro con mayor valor de pH. En cambio, el fruto tratado con RC+EF mostró una tendencia relativamente estable durante el almacenamiento, además de obtener un pH menor y ningún efecto significativo al Testigo. Un valor inferior en el contenido pH corresponde al fruto con RC, notando un

ligero descenso en el contenido y mostrando diferencia significativa del tratamiento ($p < 0.05$, anexo 12, figura 33).

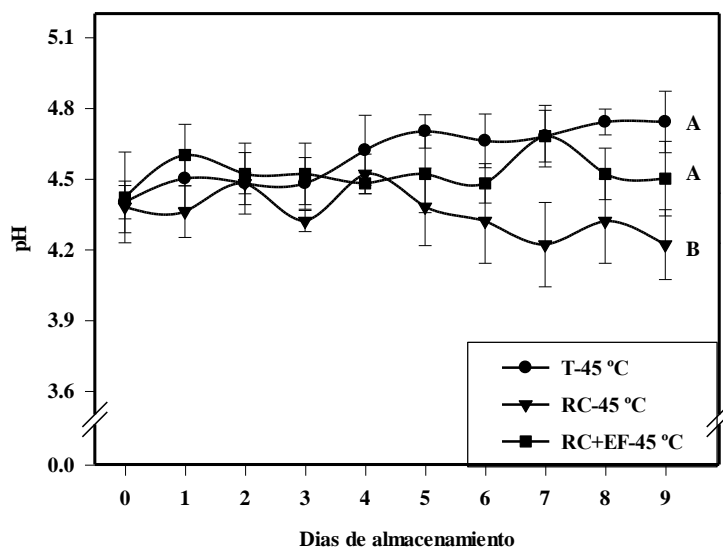


Figura 33. Valores de pH del fruto de tomate, durante su periodo de almacenamiento postcosecha a 45 °C en diferente tratamiento. Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos muestran la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

Cherono *et al.*, 2018, asociaron los valores altos de pH como indicador del desarrollo de la madurez del fruto, hasta alcanzar su etapa completa, que conduce a la pérdida del contenido ácido debido a su conversión en azúcares. Los resultados registran que los tomates tratados con RC+EF tuvo mayor desarrollo en la concentración de pH a lo largo del tiempo (figura 31), permitiendo señalar que la adición del extracto fermentado al recubrimiento no indujo un metabolismo anaeróbico en el fruto durante los días de almacenamiento. En cambio, los tratados con RC y Testigo manifestaron comportamientos similares según la temperatura de almacenamiento (figura 31). Autores como Domene & Segura, 2014 afirman, que preservar un pH bajo puede prolongar la vida útil, tal es el caso de los frutos sin recubrimiento (Testigos) y con recubrimiento (RC), al mostrar valores más bajos (figura 31). Del mismo modo, el contenido de pH se vio afectado por la temperatura de almacenamiento (figura 33), donde el efecto mostró un comportamiento diferente entre tratamientos, como el progresivo aumento del pH en el Testigo.

Un comportamiento aparentemente estable del contenido pH en RC+EF, asociado con inicios del agrietamiento en el recubrimiento durante los días de evaluación, y debido a la relativa exposición del fruto con la temperatura, sea probable al resultado de una respiración anormal y acelerada, producto de la plasmólisis en el tejido del fruto (Moreno *et al.*, 2013). Además de la disminución del valor en RC, también son signos de estrés por atmósfera modificada, dando como resultado mayor velocidad del deterioro del fruto de tomate (Sabir & Agar, 2010). Por lo tanto, se considera que el recubrimiento influye en el hecho de que los frutos tratados tuvieron una vida útil más corta al presentar valores acelerados de pH.

Color L*

El color es una característica externa para evaluar la madurez, la vida postcosecha y la calidad de los frutos frescos, y es un factor importante en la preferencia del consumidor. La figura 34 muestra los valores de luminosidad (L) de frutos almacenados a 25 °C, donde se aprecian diferencias significativas ($p < 0.05$, anexo 13) entre tratamientos. Los resultados de las diferencias entre tratamientos indican que los valores más altos de L durante el almacenamiento fue en el fruto con RC+EF, es decir, el fruto con mayor cambio de color. También con un incremento del valor en el parámetro L según los días de almacenamiento (8 y 9) se observa en el fruto con RC, asimismo no mostró un efecto hacia el Testigo que aparentemente mantiene estable los valores del parámetro a lo largo del almacenamiento, indicando menores cambios en los frutos ($p < 0.05$, anexo 13, figura 34). Los cambios en el parámetro L indican cambios de color, donde mayor desarrollo del valor L mayor será la luminosidad o claridad del color, resultado de los cambios que sufre el fruto durante la maduración.

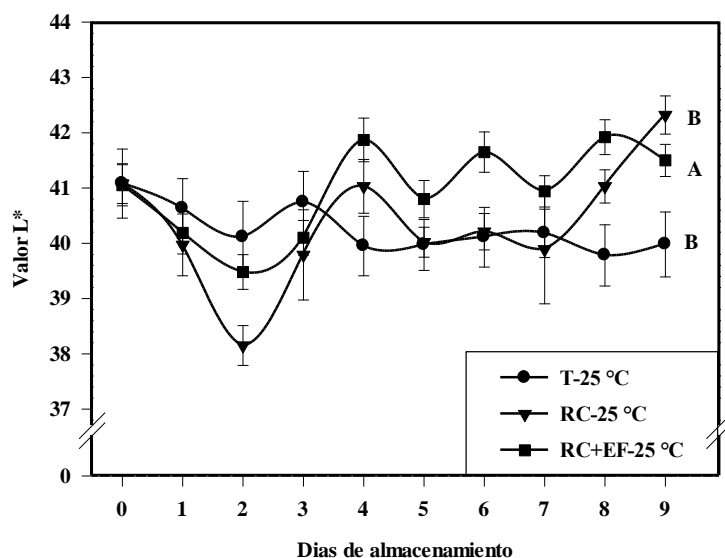


Figura 34. Valores de L (luminosidad) obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 25 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

La figura 35 muestra los valores del parámetro L , donde el almacenamiento a mayor temperatura tuvo un efecto significativo en la calidad del fruto. La aplicación de RC+EF sobre el fruto presenta mayor luminosidad, lo que significa que el valor L es mayor y aumentó conforme los días de almacenamiento, observando un cambio de color en el exocarpio (corteza) y la posible senescencia del fruto, con diferencia significativa del tratamiento ($p < 0.05$, anexo 14). También se pueden observar comportamientos similares con el uso de RC y en el Testigo, donde los tratamientos presentan valores más bajos, asimismo los parámetros de L mantienen un pequeño descenso y al parecer no sufren cambios considerables en los tratamientos durante el almacenamiento ($p < 0.05$, figura 35). Sin embargo, se reflejó el deterioro de los frutos por la temperatura de almacenamiento.

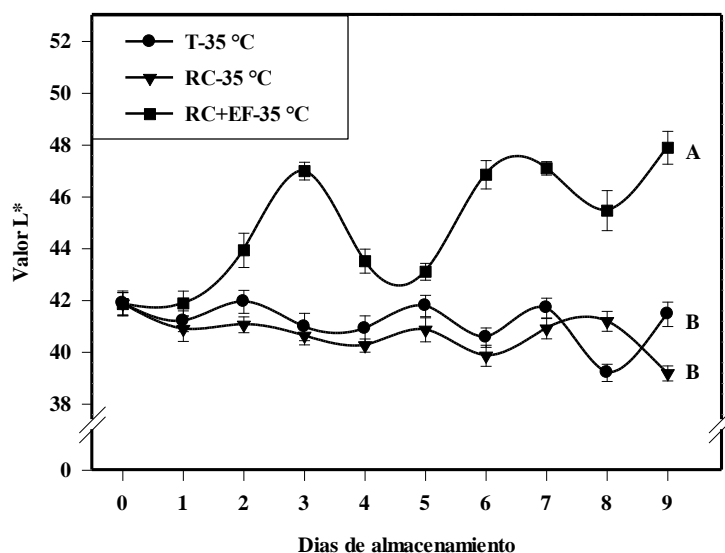


Figura 35. Valores de L (luminosidad) obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 35 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

En la figura 36, se muestran los resultados de L en los frutos a 45 °C, con diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$, anexo 15). Con la aplicación de RC+EF permitió tener frutos con valores más altos de L durante el almacenamiento, la cual estos valores varían desde el día 2 hasta el día 6; a partir del día 7 el valor incrementó, manteniéndose estable. Seguido, el uso de RC también permitió el desarrollo del parámetro L , donde el valor del fruto sigue siendo mayor a diferencia del Testigo, los valores de L son mayores con la aplicación del biopolímero, que conlleva aparentemente a mayor luminosidad (figura 36). En cambio, Testigo presenta valores de L más bajos en comparación con los tratamientos de RC y RC+EF. Sin embargo, bajo la influencia de la temperatura, la pérdida de frescura fue más rápida, provocando pérdida de brillo, pardeamiento y envejecimiento del tejido.

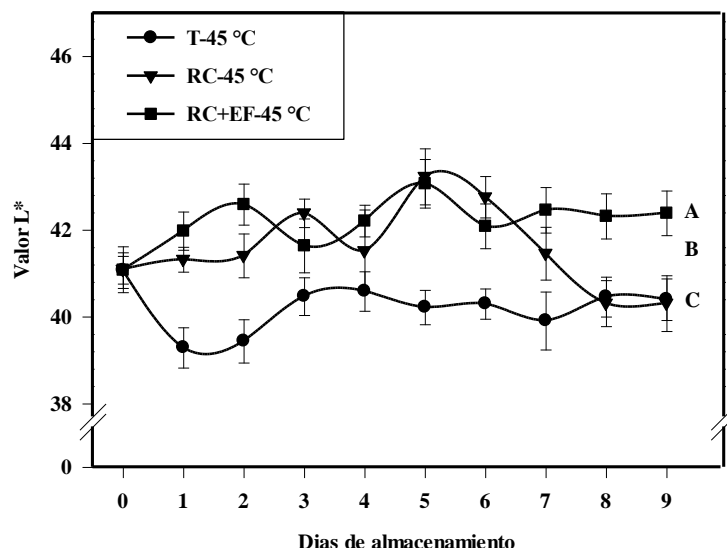


Figura 36. Valores de L (luminosidad) obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 45 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

El parámetro muestra que los valores de L están influenciados por la temperatura y el tipo de tratamiento. El desarrollo del parámetro de luminosidad se observó principalmente en los frutos recubiertos, donde los valores más altos se debieron a la influencia del material polimérico en las lecturas y no del fruto en sí. Debido a que los tratamientos almacenados a 45 °C (RC y RC+EF) (figura 36) los que presentan visiblemente un tejido superficial más oscuro, seguidos de los frutos almacenados a 35 °C (figura 35). El oscurecimiento progresivo en los tejidos del fruto se atribuye a la síntesis de carotenoides, por lo tanto, conduce a la disminución de la luminosidad (Al-Dairi *et al.*, 2021a). Además de una notable pérdida de brillo, también muestra un cambio drástico en la calidad del fruto. Pero este comportamiento en frutos recubiertos también puede estar relacionado con una disminución de O_2 y un aumento de CO_2 dentro del envase, así como un mayor deterioro del fruto (Chiabrando & Giacalone, 2013). A diferencia de los tratamientos almacenados a 25 °C (figura 34), que muestran una mayor

conservación, es más permite el adecuado desarrollo de la madurez, presentando un parámetro creciente en los valores de L (luminosidad), con tonos ligeramente más intensos en los frutos.

Color a^*

La figura 37 reporta los valores del parámetro a^* , representa en los frutos el progresivo color rojo característico durante el almacenamiento. Los frutos Testigo presentaron los valores mayores en la coordenada a^* , desde luego mostró una tendencia positiva durante el almacenamiento, manifestando el desarrollo de tonalidad rojo intenso. También con una tendencia en el desarrollo del parámetro a^* se observa en RC, no mostrando un efecto hacia el Testigo ($p < 0.05$). Mientras que el RC+EF presentó un valor inferior de a^* , considerando que adoptó un descenso en el parámetro, seguido de un aumento del valor a^* desde el día 5 de almacenamiento ($p < 0.05$, anexo 16, figura 37). Estas variaciones en los parámetros de a^* indican cambios en el color, donde los tratamientos con valores altos representan mayor expresión del color rojo.

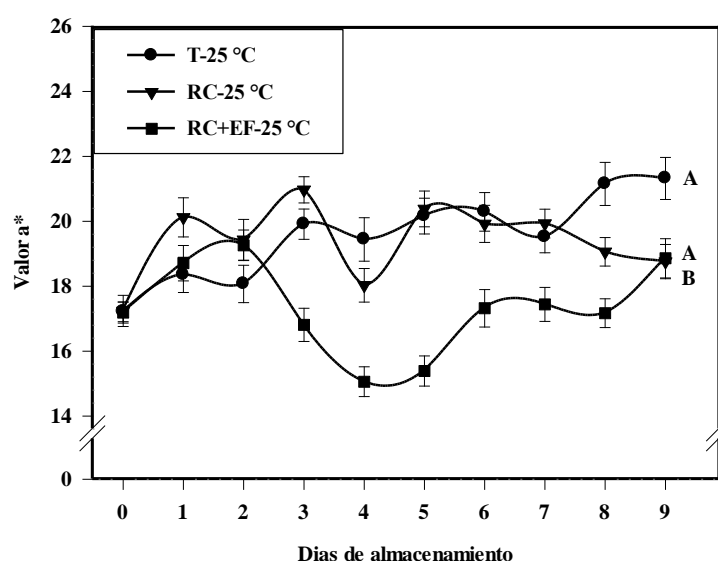


Figura 37. Valores de a^* [a^* = cambio de color del eje verde (-) al rojo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 25 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las

diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

La calidad de los frutos se vio afectado por su almacenamiento a 35 °C, donde los parámetros de a^* variaron durante el periodo, encontrando diferencias significativas en los tratamientos ($p < 0.05$, anexo 17). La figura 38 muestra que el fruto Testigo manifestó el desarrollo del parámetro de enrojecimiento, presentando un valor alto de a^* . En cambio, los frutos con RC+EF y RC mostraron descenso durante el almacenamiento, además de adoptar valores inferiores en el parámetro a^* , estableciendo cambios notorios, es decir, tomando un color marrón rojizo en el fruto conforme el periodo de evaluación ($p < 0.05$, anexo 17, figura 38).

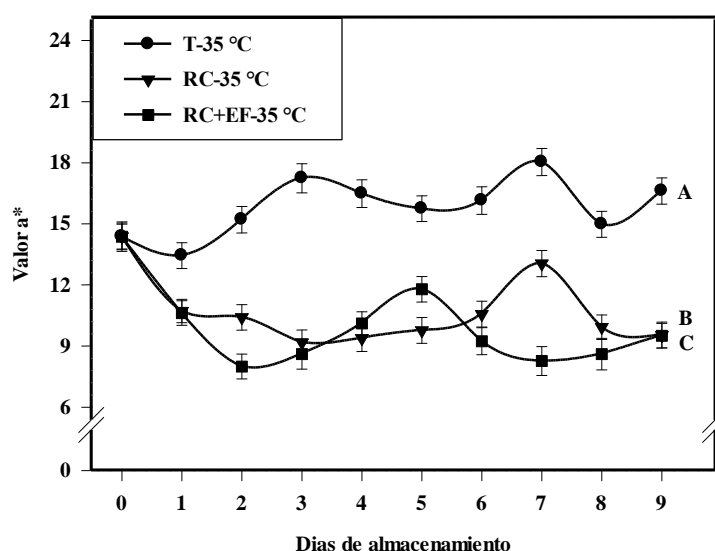


Figura 38. Valores de a^* [a^* = cambio de color del eje verde (-) al rojo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 35 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

Los frutos a 45 °C se muestran en la figura 39, donde existen cambios estadísticamente significativos entre tratamientos ($p < 0.05$, anexo 18). En general, los tratamientos mostraron descenso en el parámetro a^* en el

transcurso del almacenamiento. Encontrando el Testigo con menor pérdida del parámetro, mostrando una disminución gradual de los valores de a^* . Seguido en los frutos con RC, quien muestra variabilidad y un notable descenso del parámetro. En el RC+EF se manifestó un parámetro acelerado, es decir, el valor a^* disminuyó de manera rápida en un corto período de tiempo desde el día 2, formando un tono marrón en los tejidos del fruto durante el almacenamiento ($p < 0.05$, anexo 18, figura 39).

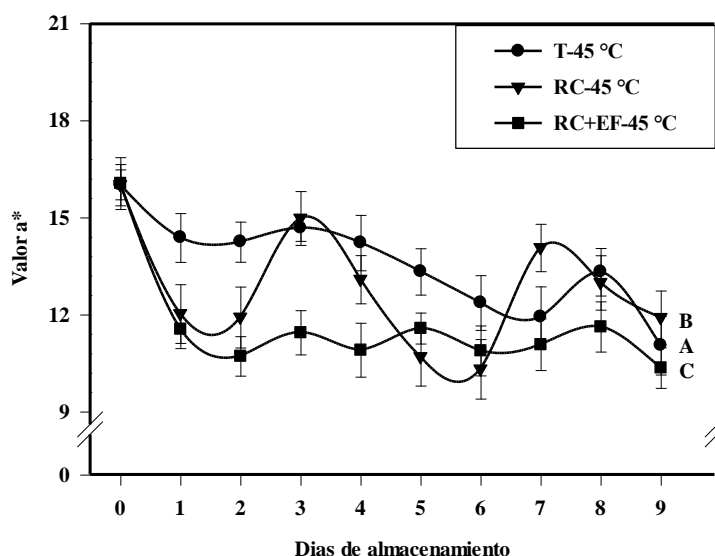


Figura 39. Valores de a^* [a^* = cambio de color del eje verde (-) al rojo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 45 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

En general, una tendencia ascendente en los valores de a^* se considera un indicio de enrojecimiento en el fruto de tomate, como se muestra en los resultados de la figura 37 (T, RC y RC+EF) y figura 38 (Testigo), que manifiestan el desarrollo del color rojo debido a la temperatura de almacenamiento. Además, Al-Dairi *et al.*, 2021 determinaron que el aumento del parámetro a^* se debe a la etapa de maduración del fruto, en la que se presentan cambios de pigmentos, de los cuales se caracteriza por la degradación de la clorofila y la rápida formación de carotenoides

(principalmente licopeno), el causante del color rojo en el tomate. Almacenar los frutos en condiciones adecuadas proporciona un entorno apropiado para la maduración del tomate, favoreciendo el desarrollo del color. Al contrario, para los tratamientos de figura 38 (RC y RC+EF) y figura 39 (T, RC y RC+EF), manifiestan un descenso en el parámetro a^* , cambiando el color rojo brillante a un pardeamiento en el tejido del fruto. Mostrando que la degradación del color es más grave cuanto mayor es la temperatura de almacenamiento. Una rápida disminución del color indica un proceso de sobremaduración y senescencia del fruto, de modo que es perjudicial. Autores como Gómez, 2009; Kerkhofs *et al.*, 2005 mencionan que el oscurecimiento del tejido también depende de la presencia de azúcares, así como del pH, la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Al igual, este cambio de color se asocia a factores enzimáticas o no enzimáticas del pardeamiento, que incluyen la degradación de carotenoides, reacciones de Maillard y reacciones de autooxidación que involucran compuestos fenólicos (Wang et al., 2023).

Color b^*

El parámetro de b^* representa una variación de color, que va desde el eje azul (-) al amarillo (+). Los valores del parámetro de color b^* se aprecian en los frutos almacenados a 25 °C (figura 40), donde existe descenso en los tratamientos evaluados y apreciando diferencias significativas ($p < 0.05$). La cual, expone al fruto con RC con valores más altos de b^* durante el almacenamiento, es decir, manifiesta un descenso en el parámetro b^* con menor cambio en el color. Los resultados de las diferencias entre tratamientos muestran que los valores inferiores de b^* se encuentra en el RC+EF, indicando mayor descenso en los valores del parámetro b^* desde el día 1 hasta el final del almacenamiento. A medida que el valor de b^* disminuye, esto dirige a que el fruto va mostrando una pérdida de amarillez (b^*) mientras desarrolla un color rojo, lo cual, es un proceso normal de maduración del fruto (Al-Dairi *et al.*, 2021a) (anexo 19, figura 40) que es el caso de los frutos con recubrimiento. En el Testigo se observó el desarrollo de valores de b^* durante el periodo, atribuyendo a que la temperatura de almacenamiento permitió la adecuada maduración del fruto.

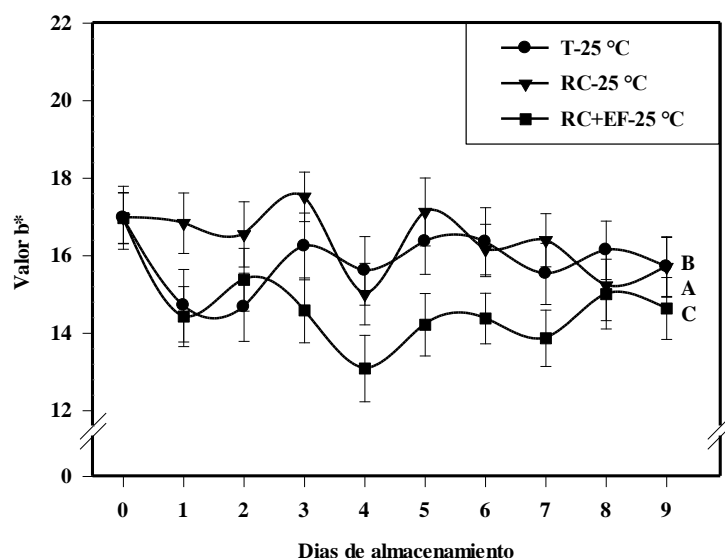


Figura 40. Valores de b^* [b^* = cambio de color del eje azul (-) al amarillo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 25 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

Los tratamientos almacenados a 35 °C presentaron mayor descenso y una acelerada reducción de la amarillez (b^*) del fruto, con diferencias significativas (figura 41). La muestra con menor descenso en el parámetro b^* se encontró en el Testigo, indicando una menor disminución en los valores de b^* . Los frutos con RC y RC+EF presenciaron un ritmo acelerado en los valores, donde el parámetro b^* mostró descenso desde el día 1 de almacenamiento y al mismo tiempo presenciando mayores pérdidas del tono amarillo, debido al oscurecimiento y senescencia del fruto ($p < 0.05$, anexo 20, figura 41).

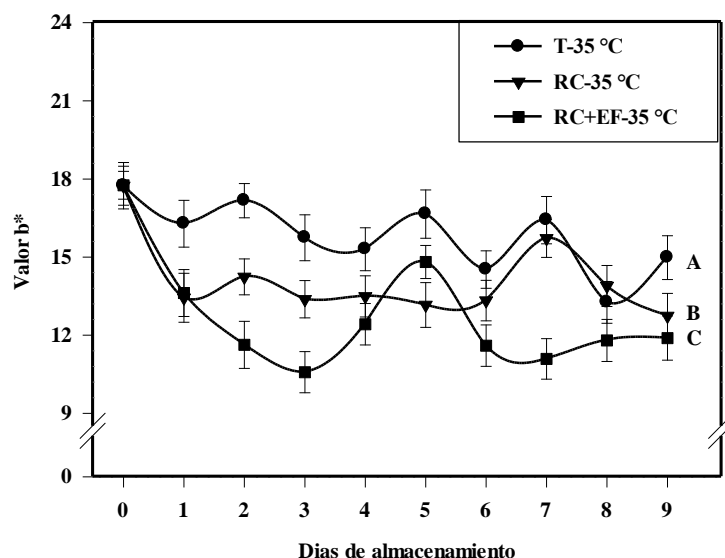


Figura 41. Valores de b^* [b^* = cambio de color del eje azul (-) al amarillo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 35 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

La figura 42 muestran los tratamientos almacenados a 45 °C con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Según los hallazgos, el Testigo experimentó un ligero aumento en los valores de b^* durante el almacenamiento. Este comportamiento puede deberse a que el fruto se expone directamente a la alta temperatura, lo que manifestó la posible presencia de la amarillez (b^*) en el tomate, que también se relaciona con la senescencia. En el caso del RC, el parámetro b^* presenta variabilidad en el transcurso del almacenamiento, sin embargo, no muestra un efecto considerable hacia el Testigo. Los frutos con RC+EF mostró disminución en los parámetros b^* y también un valor inferior en el color ($p < 0.05$, anexo 21, figura 42), atribuyendo al tratamiento con mayor pérdida del parámetro. Esto sugiere que el color de los tomates se oscurece con la aplicación del tratamiento debido al daño causado por reacciones bioquímicas como la degradación del color durante este período (Al-Dairi *et al.*, 2021b).

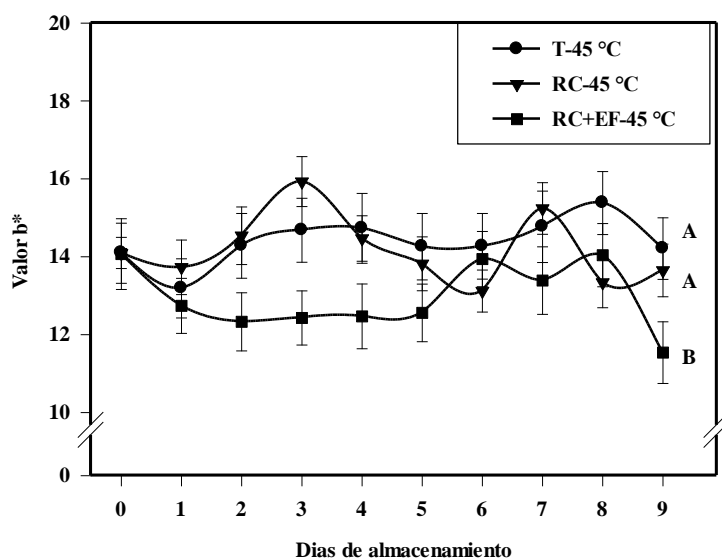


Figura 42. Valores de b^* [b^* = cambio de color del eje azul (-) al amarillo (+)] obtenidas en la escala CIELab en frutos de tomate bajo diferentes tratamientos y días de almacenamiento postcosecha a 45 °C. Testigo (T), Recubrimiento Comestible (RC) y Recubrimiento Comestible + Extracto Fermentado (RC+EF). Las líneas muestran los diferentes tratamientos, los símbolos indican la media por día de muestreo \pm desviación estándar y las diferentes letras indican la significancia según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) entre tratamientos durante su periodo de almacenamiento.

El valor b^* indica un claro comportamiento del color azul (-) a amarillo (+). Generalmente, los tratamientos evaluados resultaron con la tendencia de reducción del valor (b^*) y en que visualmente no se presenció la amarillez de los frutos en el transcurso del almacenamiento (figura 40, 41 y 42). Tijsskens & Evelo, 1994 informan que la presencia o ausencia de un tono amarillo en el tomate puede depender de la combinación del tiempo y la temperatura de almacenamiento, así como la fase de madurez del fruto. Los frutos recubiertos mostraron valores de b^* más bajos independiente de la temperatura y los valores más altos permanecieron en los Testigos durante el almacenamiento. También está relacionado con el hecho de que los ζ -carotenos (color amarillo pálido) alcanzan su concentración más alta antes de la madurez completa, mientras que el licopeno (color rojo) y el β -caroteno (color naranja) alcanzan sus máximos (Saad *et al.*, 2016). En el presente estudio los valores encontrados en frutos recubiertos hacen referencia con la mayor pérdida de

agua que experimentan los frutos durante el almacenamiento y promovida por la matriz polimérica.

Efecto de la temperatura sobre los recubrimientos comestibles y la adición de EF

En general, los resultados del estudio también se relacionan con los tratamientos que inciden en las propiedades del fruto. Los hidrogeles pueden ser polímeros sensibles que cambian sus propiedades fisicoquímicas en respuesta a variaciones en las condiciones ambientales (temperatura, pH), composición y estructura del polímero, condiciones de operación (presión), fuerza iónica y la presencia de biomoléculas, entre otros (Rueda, 2019).

Durante la extracción del mucílago de semilla de chía se utilizó una temperatura controlada, donde la temperatura inicial fue de 20 °C y finalizando con 37 °C. Para obtener una mezcla homogénea en alginato de sodio, fue necesario calentar el agua a 60 °C hasta su completa disolución. Teniendo en cuenta que la formulación debe cumplir con condiciones estándares de esterilización, es importante elegir un método adecuado, por lo tanto, fue necesario considerar las condiciones de esterilización para carbohidratos, es decir, 108 °C durante 10 minutos (Castillo et al., 2017). Se observaron partículas de burbujas de aire en el alginato de sodio al término de la esterilización del polímero, lo que se cree que provoca alteraciones en las propiedades de la molécula a temperaturas elevadas, dando como resultado daños en la estructura del polímero y una formación débil del recubrimiento (Alipour et al., 2022; Cozmata et al., 2023; Ferreira et al., 2023).

El material utilizado como recubrimiento no mejoró la protección de los tomates. Trabajos previos informaron que la aplicación de tratamiento térmico y esterilización facilita el proceso de despolimerización, favoreciendo la disminución de viscosidad de la solución, la fuerza mecánica y la pérdida de resistencia de las partículas de gel formadas durante la gelificación (Ferreira et al., 2023; Leo et al., 1990). Ching et al., 2017; Leo et al., 1990 también mencionan que la despolimerización ocurre en los polímeros tratados térmicamente por encima de los 100 °C, todos estos efectos conducen a una estructura más abierta del material, un aumento en el tamaño de partícula y en su porosidad, en consecuencia, una matriz con menor rigidez por el cierto impacto a temperaturas más altas. Alipour et al., 2022 encontró que el alginato

al 2% mostró una disminución significativa en la viscosidad que no fue medible después del autoclave, atribuyendo a la despolimerización de las moléculas. El pH es fundamental en varios procesos, como la preparación, buena formación de recubrimientos, la liberación y la fácil degradación (Abka-khajouei *et al.*, 2022). Por lo tanto, un pH demasiado bajo puede provocar falta de homogeneidad y cualquier variación en la concentración iónica afectará en la solubilidad y la viscosidad (Hurtado *et al.*, 2022). A pH neutro asegura la hidratación, la solubilidad para una buena formación del gel, siendo una influencia clave en la liberación de compuestos en la estructura del material (Efentakis & Buckton, 2002). Por otro parte, cuando el valor de pH es superior al neutro, las partículas del polímero se hinchan, el tamaño de los poros aumenta lo contrario de un pH bajo y se produce fácilmente una despolimerización parcial (Abka-khajouei *et al.*, 2022; Lupo, 2014). Durante la hidratación de las semillas de chía utilizadas para la extracción del mucílago, mostró un pH inicial de 8.9 y 6.5 en el término de la hidratación, indicando una concentración de iones de hidrógeno con características adecuadas para formar un buen material, aunque el alginato a pH bajo conduce a la formación de geles débiles e incluso la ausencia de estructuras del gel, debido a la insolubilidad por las cargas de iones moleculares (De Farias & Noreña, 2019; Funami *et al.*, 2009). Si bien, la adición de extracto de cebolla fermentado a la formulación también puede influir a la frágil formación del material polimérico, ya que mostró un pH de 3.5 al término del proceso de fermentación. Se considera que una variación del pH conduce a cambios en la estructura del material, como es la ruptura de los enlaces glicosídicos, alterando la erosión del polímero y las vías de difusión para la liberación del compuesto biológico (Abka-khajouei *et al.*, 2022; Hurtado *et al.*, 2022).

Considerando las propiedades adecuadas para cumplir su principal función, el recubrimiento aplicado sobre el fruto por inmersión otorgó firmeza, brillo y brindó mejor apariencia al fruto, cuando se encontraba fresco. Al eliminar el exceso de humedad, se observó un recubrimiento con buena formación, resistencia, sin relieve y adherencia del material sobre la epidermis del fruto, pero también con presencias de algunas burbujas de aire, las cuales eran menos visibles cuando el material tenía humedad. Así mismo, el material se vio ligeramente translucido, lo que corresponde a la apariencia de las

pequeñas partículas de semillas de chía presentes en el mucílago (dato no mostrado).

El almacenamiento a diferentes temperaturas mostró cambios en el aspecto de las cubiertas, se observó que a medida que aumenta la temperatura (25, 35 y 45 °C), también aumentó la opacidad del recubrimiento, siendo más pronunciada en RC+EF, mientras que RC era consistentemente menor. De la misma manera, con los días de almacenamiento va perdiendo esa cierta luminosidad que mostraban al inicio. Este efecto de opacidad se atribuye a la reticulación de la formulación polimérica con CaCl_2 , que dirige a la formación de enlaces más fuertes por la reducción de espacios entre las cadenas poliméricas y, por lo tanto, la reducción del paso de luz a través del recubrimiento, en consecuencia, mayor opacidad (Costa et al., 2018).

La formación de un recubrimiento sobre el fruto la morfología de su superficie es importante, ya que una envoltura irregular puede dar lugar a la presencia de cavidades superficiales y/o profundas en su estructura, lo que lleva a la formación de poros, reduciendo así la eficacia del recubrimiento (Rueda, 2019). Por supuesto, con la formación de enlaces cruzados y el aumento en la concentración de CaCl_2 , también aumenta la rugosidad y las irregularidades superficiales de los recubrimientos (Costa et al., 2018). Estudio realizado por George & Abraham, 2006; Gouin, 2004; Lupo Pasin, 2014 indican, que la desventaja de los recubrimientos formados a partir de geles de alginato es que se trata de un material con una matriz muy porosa, lo que facilita la liberación prematura de los compuestos bioactivos incorporados, a través de una rápida y fácil difusión de humedad mediante los poros de la matriz polimérica, reduciendo las propiedades de barrera frente a factores ambientales adversos.

Menores daños se mostraron a los 25 °C figura 43, donde el RC+EF perdió ligeramente la cohesión, pero sin presenciar esa pérdida de humedad, que es un factor importante para mantener la estabilidad del material. Ahora bien, el RC mantiene esa adherencia, estabilidad y sin ninguna alteración del material.

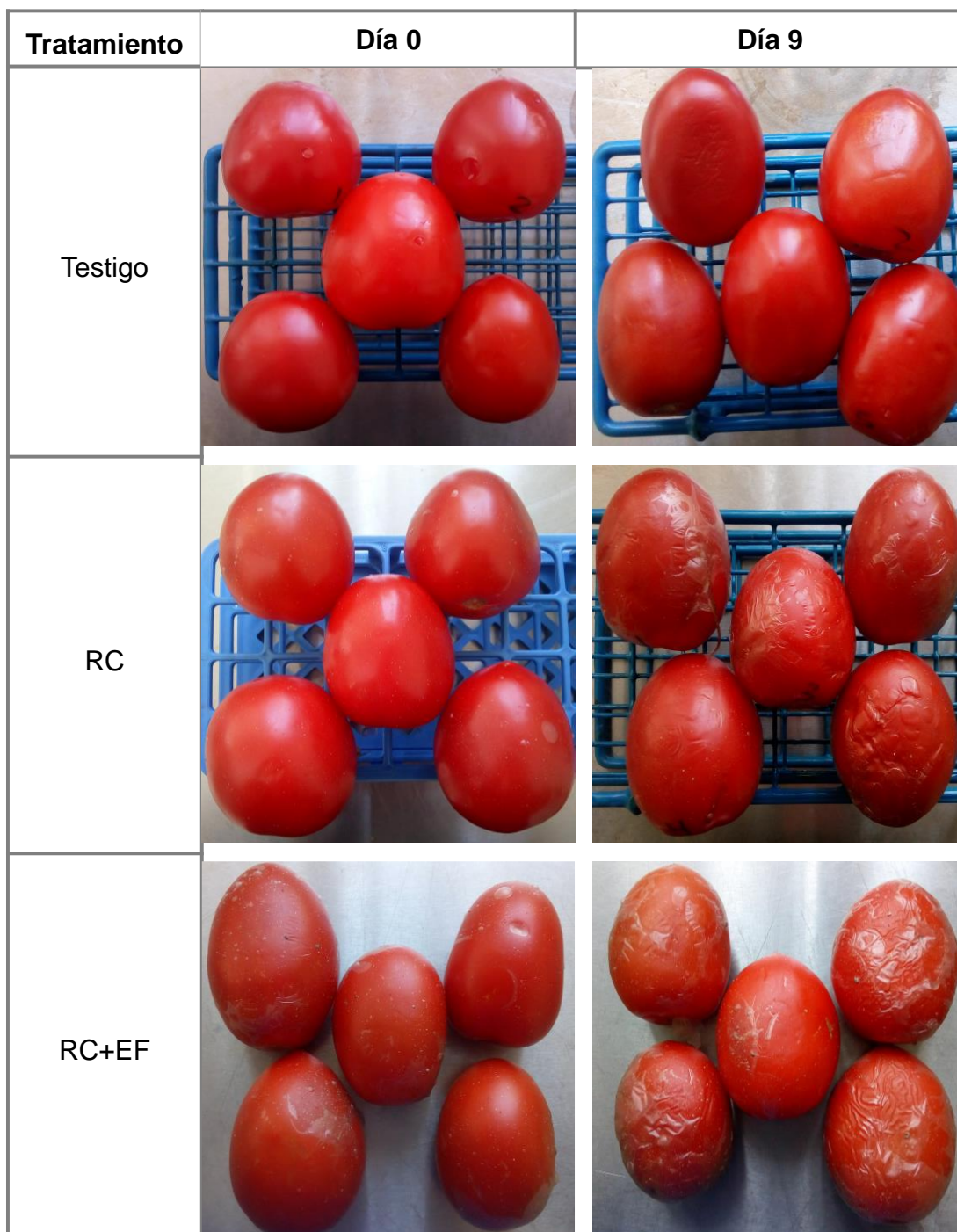


Figura 43. Cambios visuales en parámetros de tomates almacenados a 25 °C durante 9 días bajo diferentes tratamientos.

Al someter los tratamientos a 35 °C se observó un material muy estable (RC), no deshidratado y con buena adherencia al fruto. Por otro lado, el RC+EF mostró gradualmente esta pérdida de adherencia con cierta pérdida de humedad, lenta deshidratación y algunas rupturas del material al final de la evaluación (figura 44). Según Arroyo *et al.*, 2019 afirman que estas propiedades pueden verse afectadas por la concentración del polímero en la

solución, donde concentraciones bajas daban poca adherencia al epicarpio del tomate.







Tratamiento	Día 0	Día 9
Testigo		
RC		
RC+EF		

Figura 44. Cambios visuales en parámetros de tomates almacenados a 35 °C durante 9 días bajo diferentes tratamientos.

Se observó directamente que la aplicación de temperaturas a condiciones establecidas conducen a la deshidratación de la matriz polimérica, donde el almacenamiento a mayores temperaturas mostró ciertas características

particulares, como la extrema deshidratación de los frutos, al igual que las formulaciones poliméricas RC y RC+EF, el cual, fue más evidente presenciar mayor fragilidad y cambios en la estructura, como grietas superficiales inducidas por la deshidratación completa del recubrimiento a 45 °C (figura 45), sucediendo lo contrario en los tratamientos a temperaturas más bajas (35 y 25 °C), observándose menores daños en el material (figura 44 y figura 43), respectivamente. La incorporación de extracto de cebolla fermentado para la formulación RC+EF pudo influir en su resistencia, mostrando daños en la superficie, tales como ver material seco y quebradizo, así como la ruptura del recubrimiento, siendo más evidente a mayor temperatura (45 °C) (figura 45). Estas grietas afectan en la permeabilidad del recubrimiento y, por tanto, reducen el potencial del material. A diferencia con RC, se observó que la resistencia del recubrimiento es aparentemente mejor y no hubo grietas, pero este es un material muy deshidratado. El objetivo del recubrimiento es proporcionar mayor protección a los parámetros, pero el efecto fue contrario, que aumentó significativamente la pérdida de parámetros en los frutos recubiertos, comparando con los frutos testigos. El tratamiento térmico también favoreció una mayor contracción de los materiales RC y RC+EF, notándose una estructura que perdía cohesión en el fruto por deshidratación, indicando que la estructura polimérica se había colapsado, disminuyendo la integridad de la pared del recubrimiento.

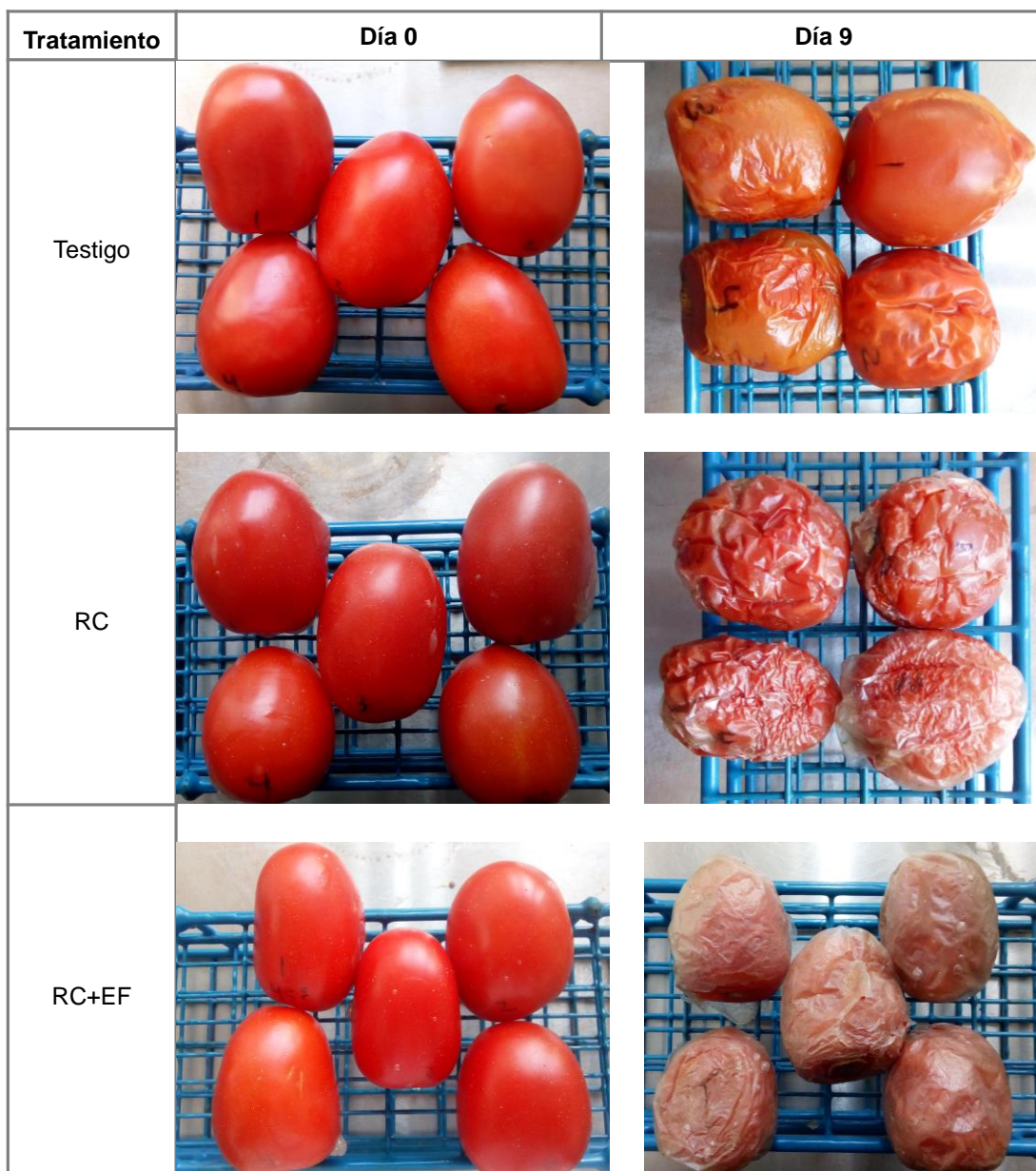


Figura 45. Cambios visuales en parámetros de tomates almacenados a 45 °C durante 9 días bajo diferentes tratamientos.

Se cree que la inclusión del extracto afectó en gran medida la formación del recubrimiento y que la exposición del material a temperaturas elevadas fue más susceptible a la deshidratación, contracción y despolimerización, lo que indica una relación negativa entre la temperatura y la estabilidad de la matriz, pudiendo ser responsable de la aparición de grietas en el recubrimiento. De Farias & Noreña, 2019; Outuki et al., 2016 afirman, que estos cambios en pérdida de masa de las muestras por debajo de los 100 °C corresponden a la pérdida de algunos compuestos volátiles y la pérdida de agua de la estructura polimérica. Luego, a temperaturas superiores, aumenta la contracción de la

red polimérica y el agua unida intermedia comienza a evaporarse (Saqib et al., 2022). Cuando experimentan altas tasas de degradación, generalmente por la despolimerización y descomposición de las cadenas poliméricas, es cuando el agua ligada permanece más interconectada en una estructura compuesta por enlaces de hidrogeno (Saqib et al., 2022; De Farias & Noreña, 2019). Es importante tomar en cuenta la influencia de la temperatura, ya que la deshidratación completa del recubrimiento facilita su erosión y propicia a las grietas superficiales. La erosión y el agrietamiento de la matriz limita la eficacia del material formado sobre el fruto, impidiendo que esta logre su propósito.

La formulación de una matriz polimérica compuesta principalmente por mucílago de semilla de chía resultó ineficaz, cuando el propósito es preservar los frutos y segregar el ingrediente activo de su entorno, para extender la vida útil del tomate. La finalidad de la adición de extracto de cebolla fermentado es mejorar las propiedades del biopolímero, además, es un material rico en compuestos fenólicos, que actúa como efecto inhibidor contra *Rhizopus stolonifer*, y con la incorporación a la formulación polimérica, se demuestra que el material pierde su consistencia, es decir, un cambio progresivo en su estructura con la evolución del tiempo de almacenamiento, aspecto que se atribuye al ingrediente añadido. Esto explica que pueda ser producto de la interacción entre el polímero y los compuestos fenólicos del extracto fermentado, provocando en una formación de estructura insuficiente. Chan, 2011; Lupo, 2014 atribuyen que la formación de matrices con estructuras débiles también se debe a la desproporción entre la cantidad del contenido polifenólico y del polímero al reducir el número de sitios de unión disponibles para los iones de calcio, por lo que hay menor reticulación en la estructura, que contribuye a una menor resistencia a la formación del recubrimiento. En este caso, la adición de extracto de cebolla fermentado no resultó adecuado para formar un recubrimiento mejorado. Este resultado era esperado, ya que las propiedades durante el procesamiento, formación y almacenamiento pueden haber contribuido a la falta suficiente de gelificación y estabilidad del material.

Muchos de estos componentes activos también sufren serias desventajas, especialmente al ser termolábiles y de poca estabilidad (Mehta et al., 2022). Trabajos han demostrado que la temperatura es un factor determinante para

la degradación de los polifenoles. Aoyama & Yamamoto, 2007; Demir *et al.*, 2019 estudiaron los compuestos fitoquímicos en muestras de cebolla y su efecto en el tratamiento térmico, y concluyeron que los cambios en el contenido fenólico total durante el calentamiento se asocian con una disminución en la actividad antioxidante y el contenido total de flavonoides.

Para mejorar las propiedades del recubrimiento, otro enfoque es generar mezclas de polímeros en forma de redes, que a menudo son mucho mejores para los nuevos sistemas híbridos. Por lo tanto, formular materiales con otros es una forma viable de lograr mejores propiedades. El alginato es un polisacárido capaz de reticularse químicamente a través de grupos carboxilo e hidroxilo y cationes divalentes para formar hidrogeles, donde el entrecruzamiento a través de iones de calcio, el alginato forma una red de gel con los residuos de ácido gulurónico y ácido manurónico (Carranza *et al.*, 2023; Cozmuta *et al.*, 2023). Pero algunas limitaciones de los recubrimientos formados con alginato puro son su baja eficiencia en la estructura de su pared, alta porosidad y baja resistencia mecánica que conduce a su degradación, así como su deficiente incorporación y liberación de compuestos en la matriz (Cozmuta *et al.*, 2023). Para reforzar la eficiencia del material, se ha encontrado que el mucílago de chía es un polisacárido compatible para la formación de compuestos entre dos polímeros, por su contenido de grupos -OH y una pequeña cantidad de grupos -COOH (Mujtaba *et al.*, 2023). Debido a la naturaleza hidrofílica del recubrimiento, es capaz de retener moléculas de agua en su estructura interna durante su formación, y cuando el material polimérico se contrae por una fuerza externa, las moléculas de agua abandonan la matriz polimérica, dando como resultado la sinéresis (Abkakhajouei *et al.*, 2022). Cualquier cambio en el entorno puede conducir fácilmente a cambios significativos en las propiedades físicas y mecánicas del recubrimiento.

En este trabajo también se presencié la degradación térmica del biopolímero a temperaturas inferiores a las citadas en la literatura. Esto puede deberse al efecto de interacción entre el mucílago de chía y los polímeros de alginato de sodio, pero también puede estar relacionado con la presencia del extracto fermentado, que tiene un pH bajo que puede conducir a la despolimerización.

Sin embargo, se necesita más estudios para comprender completamente el efecto del tratamiento térmico en las propiedades del material antes de poder sacar estas conclusiones.

Rueda, 2019 utilizó la misma formulación polimérica (mucílago de semilla de chía y alginato de sodio) para encapsulación de bacterias ácidas lácticas (BAL). Iniciando con un estudio reológico, en el que la formulación presentó un comportamiento de fluido no newtoniano de tipo pseudoplástico, ya que su viscosidad aparente disminuyó con el aumento de la velocidad de deformación. Esta característica en los componentes utilizados se debe a la presencia de moléculas hidrofílicas, donde el polisacárido viscoso interactúa con las moléculas de agua y las inmoviliza (Arnon et al., 2015). La estabilidad es otro factor a considerar para formación adecuada de la matriz, donde la gelificación iónica con CaCl_2 (0.1M) crea un material más resistente, que protege el contenido y evita pérdidas durante el almacenamiento. Microscópicamente se observó la morfología de la capsula deshidratada (con alginato 3 %), la cual se identificó estructuras irregulares y con formación de grietas. La incorporación de BAL a la matriz fue eficaz debido al procesamiento simple, sin embargo, los resultados no mostraron liberación ni crecimiento de BAL de las cepas encapsuladas. La negativa viabilidad de las BAL encapsuladas se relacionan con varios factores y/o procesos, incluidos el tipo de polímero utilizado, principalmente su composición y estructura de la pared para controlar la eficiencia de liberación. Las condiciones de operación (temperatura, pH, presión, humedad) durante la producción, y el uso de partículas también contribuye al proceso de despolimerización.

Modelo cinético de degradación térmica de tomate

Este estudio examina como la temperatura y los tratamientos influyen en la vida útil de los tomates. El estudio utilizó pruebas de vida acelerada para modelar cómo estos factores afectan en las características de calidad necesarias para la comercialización del fruto. El propósito de este estudio es ayudar a la industria alimentaria a predecir diversos parámetros de calidad de los frutos de tomate como peso, firmeza, SST, pH y color a diferentes temperaturas de almacenamiento, minimizando así las pérdidas económicas. La base de las pruebas aceleradas es obtener datos sobre la vida útil del producto en un periodo de tiempo más corto, ya que el producto pierde sus

características de calidad más rápidamente en condiciones severas. Estos datos ayudan a sacar conclusiones sobre la confiabilidad del producto cuando los cambios estructurales son causados por factores externos, donde el tiempo juega un papel importante.

Los modelos cinéticos son herramientas útiles para evaluar cambios en la calidad y vida útil de los alimentos. Para determinar la vida útil del fruto, los datos se ajustan en ecuaciones de orden cero para representar los parámetros de calidad. Se realizó el cálculo de la energía de activación (E_a) y el factor pre exponencial (k_0), seguido de la ecuación de Arrhenius se obtuvo la constante de velocidad de reacción (k), la cual se utiliza para determinar la vida útil del parámetro causado por la degradación térmica. El factor Q_{10} ayuda a determinar si la temperatura modifica la velocidad de reacción que se llevan a cabo en el fruto, además el efecto del recubrimiento frente a la temperatura. El cálculo de los coeficientes anteriores se realizó para las 3 temperaturas aplicadas y los diferentes tratamientos (Testigo, RC y RC+EF).

Cinética de degradación en pérdida de peso (%)

Se presenta los datos cinéticos (E_a , valor k , valor de vida útil y valor Q_{10}) relacionados con las velocidades de cambio en el peso del fruto durante el almacenamiento a diferentes temperaturas (cuadro 10, anexo 22).

Cuadro 10. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y valor Q_{10} en la pérdida de peso.

Tratamientos	E_a (kJ/mol)	K_0	Pérdida de peso (%)			Tiempo de vida útil			Q_{10}	
			25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C	25-35 °C	35-45 °C
T	60.947	3.7E+10	0.767	1.706	3.606	9.465	6.315	3.230	2.223	2.114
RC	39.439	1.3E+07	1.538	2.579	4.186	7.077	4.539	2.522	1.677	1.623
RC+EF	32.469	1.0E+06	2.034	3.113	4.638	5.774	3.445	2.876	1.530	1.490

Un valor de E_a más alto significa mayor sensibilidad térmica a la degradación durante el almacenamiento (Ordóñez & Martínez, 2019). La alta sensibilidad (E_a) en el testigo (60.947 kJ/mol) puede ser causada a la exposición directa del fruto a la temperatura, en contraste con los valores más bajos de E_a en RC (39.439 kJ/mol) y RC+EF (32.469 kJ/mol) debido a la protección de la envoltura.

La cinética es la velocidad de cambio, donde los valores más altos hacen referencia a una rápida maduración del fruto. La importancia de mantener valores bajos en k es que permanezca los parámetros del fruto lo más inmaduro posible y evitar cambios innecesarios que afecten la calidad poscosecha del tomate. De preferencia se busca una velocidad de deterioro (k) con valores más pequeños, para que la velocidad de cambio sea lo más lento posible. Los resultados mostraron mayor velocidad de deterioro (k) en los frutos con recubrimiento, especialmente en RC+EF, iniciando con una tasa de 2.034, 3.113 y 4.638 a 25, 35 y 45 °C, respectivamente. También se encontró un índice de degradación en los frutos tratados con RC conforme la temperatura es alta, con un valor de 1.538 a 25 °C, 2.579 a 35 °C y a 45 °C con una tasa de 4.186. Con respecto a los tratamientos, una menor tasa de degradación se presentó en los frutos testigos, con valores de 0.767, 1.706 y 3.606 a respectivas temperaturas de 25, 35 y 45 °C, mostrando menor pérdida de peso. A medida que aumentó la temperatura a 10 °C presentan una mayor tasa de degradación, por tanto, mayor pérdida de peso. La presencia de pérdidas de peso en los frutos recubiertos se atribuye a la baja barrera del recubrimiento por ser un material hidrofílico. La pérdida de peso es causada por la migración de humedad, desde el interior del recubrimiento hacia el entorno y los materiales de baja barrera están sujetos a altas tasas de transferencia de vapor de agua, especialmente cuando se almacenan a temperaturas elevadas durante periodos largos (Sonar et al., 2019). Sonar et al., 2020 informa que las propiedades de barrera a los gases de los polímeros se reducen significativamente después del procesamiento a altas temperaturas.

Pal et al., 1997; Acedo, 1997; Pinheiro et al., 2013 determinaron que una pérdida de peso de aproximadamente el 10% se considera como índice del final de la vida útil de los productos. Según este valor, indica que el tiempo de vida útil de los tratamientos almacenados a 25 °C alcanzó este valor a los días 9.465, 7.077 y 5.774 en los tratamientos Testigo, RC y RC+EF, respectivamente. Los tratamientos almacenados a 35 °C alcanzarían el valor del 10 % a los 6.315, 4.539 y 3.445 días de almacenamiento en Testigo, RC y RC+EF, respectivamente. Se observó un corto periodo de tiempo para los

tratamientos almacenados a 45 °C, alcanzando esta pérdida del parámetro a los 3.230, 2.522 y 2.876 días de almacenamiento. También muestra que los frutos tratados con cubierta son los que sufren mayor pérdida, por tanto, un corto tiempo de vida útil. Los valores del periodo de vida confirman que la pérdida de peso en frutos de tomate es mayor cuando se almacenan a temperaturas más altas. Asimismo, se minimiza la vida útil de los frutos con la aplicación de las cubiertas, sobre todo en RC+EF con respecto al testigo. Según Tadesse et al., 2015, para prolongar la vida útil de los alimentos, es necesario ralentizar su metabolismo respiratorio almacenando a baja temperatura.

La aplicación de tratamientos y con el factor Q_{10} se mostró efecto sobre el fruto. Según los resultados obtenidos, la diferencia de temperatura de 35-45 °C mostró una influencia ligeramente menor en los valores de Q_{10} en todos los tratamientos que la de 25-35°C. De igual forma, el valor de Q_{10} mostró que los frutos tratados con RC y RC+EF tuvieron una velocidad de reacción estable, coincidiendo con los bajos valores de E_a para los mismos tratamientos, indicando que la mayor degradación del parámetro depende principalmente de la permeabilidad del oxígeno a través del recubrimiento. Mientras que el valor de Q_{10} en el testigo aumenta el coeficiente, al igual que la E_a , lo que significa que la velocidad de reacción se duplica, siendo más sensible a la temperatura.

Se considera que los tomates recubiertos tienden a perder mayor peso a diferencia de las no recubiertas, así como el efecto de la temperatura logra que el fruto pierda mayor peso, lo cual es una característica negativa para su comercio.

Cinética de degradación de firmeza (N)

En el cuadro 11, anexo 23 presenta los cambios cinéticos de firmeza (N), donde mayor velocidad de deterioro se encontró en el grupo RC+EF para todas las temperaturas aplicadas y los frutos tratados con RC también mostraron una tasa de deterioro alta en comparación con los frutos testigos.

Cuadro 11. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} en la pérdida de firmeza (N).

Tratamientos	E_a (kJ/mol)	K_0	Firmeza (N)			Tiempo de vida útil			Q_{10}	
			k							
			25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C	25-35 °C	35-45 °C
T	56.903	9.0E+08	0.095	0.200	0.403	10.324	5.310	3.535	2.108	2.011
RC	41.312	2.9E+06	0.166	0.285	0.474	5.129	8.858	1.786	1.718	1.661
RC+EF	1.994	1.1E+00	0.471	0.484	0.496	5.973	3.227	2.976	1.026	1.025

Los valores muestran que los tratamientos perdieron firmeza debido a la temperatura de almacenamiento, siendo el efecto de la temperatura más notable en los frutos con RC+EF, mostrando valores de 0.496, 0.484 y 0.471 a 45, 35 y 25°C, respectivamente. Una velocidad de degradación para RC fue ligeramente menor, con valores de 0.474, 0.285 y 0.166 a 45, 35 y 25 °C, respectivamente. Testigo fue el fruto con menor tasa de deterioro en todas las temperaturas de almacenamiento, comparado con los frutos recubiertos (RC y RC+EF). A altas temperaturas, el parámetro firmeza sufre una acelerada tasa de deterioro, a diferencia de temperaturas bajas donde los valores son más bajos. Los resultados en k fueron aún mayores cuando aumentó la temperatura a 10 °C, lo que compromete mayormente la tasa de degradación en la firmeza del fruto, principalmente a 45 °C. Las altas temperaturas conllevan a la reducción continua de la firmeza, lo que lleva a una alta tasa de degradación de las paredes celulares del fruto por acción enzimática (Al-Dairi, Pathare, & Al-Mahdouri, 2021).

Los resultados indican que la vida útil en la firmeza es menor en los frutos con cubiertas comestibles, con respecto a los tratamientos testigos. Este valor alcanzó en los tomates tratados con RC+EF a los 5.973, 3.227 y 2.976 días de almacenamiento a temperaturas de 25, 35 y 45°C, respectivamente. Los tratados con RC, el tiempo de vida útil fue alcanzado a los 5.129, 8.868 y 1.786 días de almacenamiento. Con respecto a los testigos, este tratamiento fue el que conservó mayor vida útil en la firmeza de los frutos, encontrando valores de 10.324, 5.310 y 3.535 días, almacenados a 25, 35 y 45°C, respectivamente. En general, los valores presentan que los tratamientos a 25 °C la vida útil del parámetro se conserva mejor, en cambio, su almacenamiento a 35 °C el tiempo es menor, así como los almacenados a 45 °C donde la firmeza se

pierde en corto tiempo. El almacenamiento a temperaturas altas resultó en una mayor reducción de vida de anaquel bajo los diferentes tratamientos aplicados.

En el factor Q_{10} se observa que el aumento de la temperatura modifica la tasa de deterioro en la firmeza del fruto, donde las condiciones de temperatura aumentan el ritmo de degradación de la superficie, también logrando que el agua interna del mismo salga de su estructura al momento de evaluar por consecuencia del ablandamiento. Los valores Q_{10} mostraron una velocidad de reacción estable para frutos con RC y RC+EF, correspondientes a valores bajos de E_a , indicando que el parámetro depende en gran medida de la matriz polimérica más que del efecto de la temperatura sobre la velocidad de degradación. El valor Q_{10} del fruto testigo mostró doble velocidad de reacción y una alta E_a , debido a que la temperatura tuvo más influencia en la degradación del parámetro. Pudiendo ser que la cubierta de alguna forma ayuda en la firmeza cuando estas son evaluados.

Cinética de degradación de los Sólidos solubles totales (SST)

Los resultados del cuadro 12, anexo 24, muestran que la constante de tasa de k se ve afectada significativamente por el aumento de temperatura durante el almacenamiento. Los cambios en el contenido de SST se adaptaron al modelo de reacción de orden cero. Las altas temperaturas de almacenamiento dieron como resultado a mayores velocidades de reacción. La velocidad de deterioro de los SST se presenta en tratamientos almacenados a 45 °C, donde la tasa fue 0.350 veces mayor con la aplicación RC+EF, el uso de RC el valor es 0.426 veces y 0.259 veces mayor en el testigo. A 35 °C, la tasa de degradación fue mayor para RC con un valor de 0.191, mientras que RC+EF (0.096) y testigo (0.078) tuvieron valores más bajos. A 25 °C, el contenido de SST mostró menor tasa de degradación en todos los tratamientos, en comparación con otras temperaturas. En este punto, el fruto tratado solo con RC presentó mayor velocidad de reacción en todas las temperaturas de almacenamiento, seguido por el RC+EF, mientras que el fruto con menor tasa de deterioro fue el testigo en todas las temperaturas de almacenamiento. Esto demuestra que la baja temperatura preservar mejor el contenido y prolonga la vida útil del tomate, lo que concuerda con los resultados de estudios previos

de que la temperatura es un factor muy importante para el almacenamiento del fruto (D. Wang et al., 2023; Zhang, Lv, et al., 2021).

Cuadro 12. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} en SST ($^{\circ}$ Brix).

Tratamientos	E_a (kJ/mol)	K_0	Solidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix)			Tiempo de vida útil			Q_{10}	
			25 $^{\circ}$ C	35 $^{\circ}$ C	45 $^{\circ}$ C	25 $^{\circ}$ C	35 $^{\circ}$ C	45 $^{\circ}$ C	25-35 $^{\circ}$ C	35-45 $^{\circ}$ C
T	98.005	3.2E+15	0.021	0.078	0.259	10.659	4.910	3.674	3.612	3.332
RC	65.299	2.3E+10	0.081	0.191	0.426	6.613	5.220	2.345	2.353	2.230
RC+EF	105.663	8.0E+16	0.024	0.096	0.350	4.522	5.735	2.215	3.993	3.660

Al establecer el fin de la vida útil del tomate en este estudio, significa que el fruto pierde su valor comercial. La vida útil prevista de los frutos testigos se redujo aproximadamente 10.659, 4.910 y 3.674 días cuando la temperatura de almacenamiento aumentó de 25 a 35 y a 45 $^{\circ}$ C. Los tratados con RC presentan una vida útil de 6.613, 5.220 y 2.345 días conforme aumentan la temperatura. Comparado con los tratamientos testigos, el grupo RC+EF presentan una reducción de la vida útil, alcanzando los 4.522, 5.735 y 2.215 días cuando la temperatura de almacenamiento es aumentada a 10 $^{\circ}$ C. La vida útil prevista de los SST se redujo sucesivamente cuando la temperatura de almacenamiento aumenta de 25-35 $^{\circ}$ C y 35-45 $^{\circ}$ C. Los frutos recubiertos se vieron más afectados al presentar menor periodo de vida en las diferentes temperaturas de almacenamiento.

El efecto del aumento de temperatura sobre la degradación de los SST en tomates se vio más afectado a los valores más altos. Con una diferencia de temperatura de 10 $^{\circ}$ C, se observó mayor respuesta a 25-35 $^{\circ}$ C. Además, los frutos con RC+EF y Testigo mostraron una triple tasa de reacción (Q_{10}), independiente de la diferencia de temperatura. Estos valores de Q_{10} están relacionados con los valores de E_a , ya que son más sensibles a los cambios de calidad a la temperatura. En cambio, para RC el valor Q_{10} presenta doble velocidad de reacción y una E_a de 65.299 kJ/mol, indicando que los resultados de los SST son menos susceptibles a la degradación por exposición a temperaturas elevadas. De lo anterior, es evidente que la variación en la E_a y Q_{10} en SST se deben en función del tipo de producto de tomate considerado, el tratamiento aplicado y la temperatura de almacenamiento. En el estudio de

Wang et al., 2023 se determinaron tendencias similares en la calidad del tomate Cherry, mostrando mayor respuesta de degradación y E_a con el aumento de temperatura, viéndose afectados los SST.

Cinética de degradación del pH

Las velocidades de reacción a diferentes temperaturas presentan variación, lo que demuestra que la temperatura baja tiene un efecto moderado, mientras que la temperatura más alta indica mayor tasa de degradación térmica con mayor impacto negativo sobre la disponibilidad del pH. Sin embargo, los valores de este estudio determinan que el efecto de k fue moderado (cuadro 13, anexo 25).

Cuadro 13. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} en pH.

Tratamientos	E_a (kJ/mol)	K_0	pH			Tiempo de vida útil			Q_{10}	
			k							
			25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C	25-35 °C	35-45 °C
T	47.605	3.5E+06	0.016	0.030	0.053	6.635	16.504	8.539	1.866	1.794
RC	4.076	1.3E-01	0.024	0.026	0.027	3.639	12.003	3.385	1.055	1.051
RC+EF	-9.358	3.2E-04	0.014	0.012	0.011	0.806	5.531	1.498	0.885	0.891

En el Testigo, la velocidad de deterioro aumentó, es decir, a temperaturas más altas, aumenta la tasa de cambio en el parámetro pH, donde el contenido cambia más rápido. El RC inició a una velocidad mayor (0.024) comparado con el Testigo, pero por efecto de la temperatura, la velocidad de reacción no fue significativa a temperaturas de 35°C (0.026) y 45°C (0.027), ya que presentó una pérdida de la variable en grado moderado. Mientras que en RC+EF, el valor k disminuye al aumentar la temperatura. La disminución del pH en frutos recubiertos puede deberse a la entrada de oxígeno al tomate, favoreciendo el crecimiento de aerobios y anaerobios facultativos durante el almacenamiento a altas temperaturas (Sonar et al., 2019). También está asociado con la oxidación de ácidos orgánicos al aumentar la temperatura (Contreras-López et al., 2022).

La vida útil de la variable pH se estima que el almacenamiento a 35 °C manifiesta una vida útil más larga en todos los tratamientos. Se produjo un comportamiento diferente cuando se almacenó a 25 y 45°C, manifestando un ciclo de vida menor. La aplicación del biopolímero resultó desfavorable para

los frutos de tomate (RC+EF y RC), ya que reduce los parámetros de pH en un periodo menor. Situación diferente para Testigo, al preservar por más tiempo el contenido pH ante las temperaturas de almacenamiento.

Las temperaturas de almacenamiento en el rango de 25-35 °C resultaron con valores más altos de $Q_{10}=1.055$ (RC) y $Q_{10}=1.866$ (T) en comparación con 35-45 °C $Q_{10}=1.051$ (RC) y $Q_{10}=1.794$ (T). En cambio, en los tratados con RC+EF el valor Q_{10} fue mayor a 35-45 °C (0.891) y menor a 25-35 °C (0.885). Los valores altos de Q_{10} indican que el pH es más sensible al aumento de temperatura, donde el contenido presenta mayor efecto en la degradación de pH a medida que la temperatura aumenta de 25 a 35°C o 35 a 45°C. En general, los frutos recubiertos mostraron protección en cuanto a la composición del pH, donde el efecto no fue drástico, lo cual los valores indican baja degradación del contenido, así como cierta estabilidad en las reacciones (Q_{10}), en todos los tratamientos.

Las degradaciones de pH en el tomate mostraron cierta sensibilidad a las elevadas temperaturas, encontrándose más sensible al grupo testigo ($E_a=47.605$), seguidos del RC ($E_a=4.076$) y después los del RC+EF ($E_a=-9.358$).

Cinética de degradación de luminosidad (L^*)

Dentro de las temperaturas de almacenamiento de este estudio, el modelo puede ayudar a predecir el tiempo de degradación del fruto. Se ha prestado atención al color, ya que es una de las características más importantes y complejas en la calidad del fruto. Dado que el color parece ser un parámetro que limita la vida útil del fruto, también se considera un indicador de calidad durante el almacenamiento (cuadro 14, anexo 26).

Cuadro 14. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} del parámetro L^* .

Valor L *										
Tratamientos	E _a (kJ/mol)	K ₀	k			Tiempo de vida útil			Q ₁₀	
			25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C	25-35 °C	35-45 °C
T	-61.172	2.7E-12	0.141	0.063	0.030	6.724	12.964	2.258	0.449	0.472
RC	-43.719	4.2E-09	0.194	0.109	0.064	5.269	8.349	1.832	0.564	0.585
RC+EF	-124.377	6.5E-23	0.413	0.081	0.018	2.368	21.608	1.139	0.196	0.217

El modelo cinético de orden cero es el inicio de descripción de cambios en el atributo. La velocidad de reacción a diferentes temperaturas mostró variaciones, mostrando que, a medida que aumenta la temperatura, los valores indican menor degradación del parámetro luminosidad. Comparado con las temperaturas elevadas, el almacenamiento a 25 °C muestra mayor reacción en k , que también se relaciona con la estabilidad del atributo, preservándose por más tiempo. En la cual, el efecto del parámetro fue más notable en los frutos recubiertos, principalmente con RC+EF (0.413), seguido de RC (0.194) referente al testigo (0.141). No obstante, a 35 °C también existe pérdida de luminosidad en los tratamientos, pero a 45 °C se registró una baja velocidad de degradación y esta conducta se debe al rápido deterioro de L^* (tabla 14, anexo 26). Las reacciones no enzimáticas son los responsables del oscurecimiento del color de los frutos y, a medida que aumenta la temperatura, los tejidos superficiales del fruto van presentando oscurecimientos, siendo un reflejo del deterioro, lo que resulta en una pérdida de luminosidad a corto plazo (Al-Dairi et al., 2021; Sonar et al., 2020). La disminución del valor de L^* también está relacionado con la deshidratación de la muestra (Onwude et al., 2017).

La vida útil del parámetro L^* se puede estimar de acuerdo al tiempo de almacenamiento, y con predicción basada en la ecuación, se determina que mayor vida útil de la luminosidad está representada en los tratamientos que fueron almacenados a 35 °C, aunque esto concuerda con los valores de k , donde la degradación del parámetro no fue drástica. En comparación a la mencionada temperatura, los tratamientos almacenados a 25 °C tuvieron una vida útil inferior, que también se relaciona con pérdida de luminosidad en los frutos. En comparación con otras temperaturas, una vida útil reducida en los tratamientos se manifestó a los 45 °C, encontrando a los frutos con RC+EF (1.139) y RC (1.832) con un periodo de vida más corta que el testigo (2.258).

Los bajos valores de E_a encontrados en los tratamientos indican que la sensibilidad del parámetro L^* a los aumentos de temperatura es limitada. La baja sensibilidad del parámetro también se observa analizando los valores de Q_{10} .

Las diferencias de temperaturas influyen en los efectos de la luminosidad del fruto, encontrando más reacción en 35-45°C que a 25-35°C, donde independiente de esto, los tratamientos RC+EF mostraron valores bajos que los testigos. El comportamiento del valor Q_{10} se vio modificado con la presencia de la cubierta aplicada. Se supone entonces que los tomates sin recubrimientos tienden a opacarse con mayor rapidez, es decir, el efecto de la temperatura logra que estas pierdan más brillo en la superficie (testigo), caso contrario de las sí cubiertas al mantener un poco más el parámetro, considerando una característica negativa en la pérdida del atributo. En resumen, los valores Q_{10} indican que el parámetro L^* se muestra estable con los cambios de temperatura, es decir, los cambios en las reacciones de luminosidad no son considerables.

Cinética de degradación de cromaticidad rojo (a^*)

En el cuadro 15, anexo 27 se muestra la velocidad de deterioro del parámetro a^* , además el tiempo de vida útil y los valores Q_{10} de los tratamientos aplicados en los frutos de tomate y evaluados a diferentes temperaturas.

Cuadro 15. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} del parámetro a^* .

Tratamientos	E_a (kJ/mol)	K_0	Valor a^*			Tiempo de vida útil			Q_{10}	
			k							
			25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C	25-35 °C	35-45 °C
T	3.221	1.2E+00	0.337	0.351	0.365	10.634	4.964	3.660	1.043	1.040
RC	60.747	2.6E+09	0.058	0.128	0.270	5.038	9.070	1.765	2.217	2.109
RC+EF	112.114	1.3E+18	0.028	0.123	0.489	3.815	7.963	1.870	4.346	3.962

El parámetro a^* muestra que con el aumento de las temperaturas (25, 35 y 45 °C), los tratamientos testigos tienen valores altos de k , con valor de 0.337, 0.351 y 0.365 cromas, respectivamente. Caso diferente en los tratados con recubrimiento, donde el RC presenta una pérdida de color de 0.058, 0.128 y 0.270 cromas, es decir, siendo valores menores respecto al testigo. Los tratados con RC+EF tuvieron valores inferiores a los demás tratamientos, donde la degradación del color rojo fue 0.028 y 0.123 cromas a temperaturas de 25 y 35 °C, respectivamente; el tratamiento almacenado a 45 °C presentó mayor degradación del color y esto se atribuye a la ruptura de la cubierta en el proceso del experimento. En general, la velocidad de deterioro dio como

resultado una menor pérdida de enrojecimiento en los frutos tratados con recubrimiento almacenados a 25 y 35 °C, comparado con los testigos. Además de una mayor degradación de a^* en todos los tratamientos almacenados a 45°C. Se considera que los recubrimientos empleados muestran cierta protección hacia el color del fruto a temperaturas menores. También se asocia que una disminución de la luminosidad y un aumento del parámetro a^* son signos de oscurecimiento del fruto (Rocha & Morais, 2003).

Se considera que los testigos han mostrado un desarrollo adecuado del color rojo en todas las temperaturas, razón por la cual muestran mayor valor en k y vida útil más larga. Su almacenamiento a 25 °C, los frutos tratados con RC+EF y RC mostraron una baja velocidad en k , sin embargo, una vida útil corta que el testigo. También se determinó mayor vida útil del parámetro a^* en los tratamientos RC+EF y RC almacenados a 35 °C, lo cual coincide con los valores de k al mostrar baja velocidad de deterioro, por tanto, mayor retención del color rojo durante el almacenamiento. Los tratamientos almacenados a 45 °C tienen una vida útil corta en presencia de parámetros rojos, que se refleja en la alta tasa de degradación. Nguyen et al., 2010 señala que este indicio puede deberse a la difusión del pigmento rojo debido a cambios en la estructura celular provocado por las altas temperaturas.

Las diferencias de temperaturas y los tratamientos incidieron en los valores del parámetro a^* , encontrando ligeramente mayor reacción a 25-35°C que a 35-45 °C. Encontrando valores de $Q_{10}=4.346$ a 3.962 (RC+EF), $Q_{10}=2.217$ a 2.109 (RC) y $Q_{10}=1.043$ a 1.040 en Testigo, respectivamente. Dependiendo de la temperatura y los tratamientos, los valores muestran mayor o menor efecto en las reacciones químicas o biológicas que degradan los pigmentos del color rojo característico del fruto. De igual forma, una mayor respuesta (Q_{10}) se presenció en frutos tratados con recubrimiento, principalmente con RC+EF, que también concuerda con que E_a (112.114 kJ/mol) presente valores altos, esto considerando que durante el almacenamiento la cubierta mostró cierta opacidad, pudiendo ser una interferencia al tomar la lectura, sobre todo a 45 °C. Una doble velocidad de reacción (Q_{10}) se encontró en RC así como E_a de 60.747 kJ/mol. El valor estable de Q_{10} se muestra en el grupo testigo, porque el valor k depende más de la temperatura ($E_a=3.221$ kJ/mol).

Cinética de degradación de cromaticidad amarillo (b^*)

En el cuadro 16, anexo 28, se presenta el valor estimado del parámetro b^* (amarillo). Se determina que mayor velocidad de deterioro corresponden a los tratamientos RC+EF (0.272 y 0.105) y RC (0.145 y 0.119) a temperaturas de 25 y 35 °C, respectivamente. Por otra parte, los tratamientos que menormente se ven afectados por dichas temperaturas son los testigos (0.044 y 0.094). A diferencia de los tratamientos almacenados 45 °C, donde los frutos con recubrimiento presentaron baja velocidad de degradación del parámetro b^* , especialmente en RC+EF con respecto al testigo. La disminución de los valores de b^* se asoció con una rápida pérdida del tono amarillo al aumentar la temperatura y tiempo de almacenamiento. Estos cambios pueden deberse a la oxidación de los pigmentos (principalmente de caroteno), porque son los que determinan el color de la pulpa y estos cambios son más evidentes a medida que aumenta la temperatura (Damasceno et al., 2008; Oliveira et al., 2015). La presencia o ausencia de color amarillo puede depender de una combinación de tiempo y temperatura, así como la etapa de maduración del fruto (Al-Dairi et al., 2021b). Sin descartar que la cubierta pudo influir en los valores del parámetro b^* , donde el tratamiento aplicado sobre el fruto mostró mayor opacidad durante los días de almacenamiento por efecto de la temperatura.

Cuadro 16. Estimación de la velocidad de deterioro, vida útil y factor Q_{10} del parámetro b^* .

Tratamientos	E_a (kJ/mol)	K_0	Valor b^*			Tiempo de vida útil			Q_{10}	
			k							
			25 °C	35 °C	45 °C	25 °C	35 °C	45 °C	25-35 °C	35-45 °C
T	58.557	8.0E+08	0.044	0.094	0.193	5.063	23.556	1.641	2.154	2.053
RC	-14.829	3.6E-04	0.145	0.119	0.099	4.665	10.833	1.591	0.823	0.834
RC+EF	-72.551	5.2E-141	0.272	0.105	0.043	3.274	11.080	1.612	0.386	0.410

Se observó una vida útil corta del parámetro b^* en los frutos almacenados a 45 °C debido a la pronta pérdida del color. El almacenamiento a 25 °C, los tratamientos presentan una vida útil ligeramente más larga debido a un mejor desarrollo del color amarillo. La vida útil más larga se registró para los tratamientos almacenados a 35 °C, lo que se asocia con un desarrollo suficiente del color y también con una retención del parámetro durante más

tiempo. En resumen, la retención de compuestos amarillos en la superficie del fruto fue más pronunciada en los tomates testigo, así como los tratamientos almacenados a 35 °C. Las propiedades del material polimérico pueden desempeñar funciones en la retención del color (carotenoides) (Sonar *et al.*, 2019).

Los valores más altos de E_a (58.557 kJ/mol) y Q_{10} indican que la constante de tasa de degradación (k) del tono amarillo es sensible a cambios con el aumento de temperatura, donde este comportamiento se muestra claramente en el testigo. Los valores inferiores de E_a y Q_{10} encontrados en RC y RC+EF corresponden a una menor sensibilidad a la temperatura y al hecho de que el comportamiento de k depende más del material polimérico, mostrándose estable.

En el valor Q_{10} , se observaron alta velocidad de reacción en el grupo testigo, así como el almacenamiento a 25-35 °C ($Q_{10}=2.154$) y 35-45°C ($Q_{10}=2.053$). Se encontró menor sensibilidad a la temperatura y con valores estables en RC ($Q_{10}=0.823$ y $Q_{10}=0.834$) y RC+EF ($Q_{10}=0.386$ y $Q_{10}=0.410$), respectivamente. Un estudio realizado en pimiento rojo y con temperaturas cercanas a la investigación, se encontró comportamientos similares en los valores de color ($L^*a^*b^*$), determinando mayor velocidad de degradación (k) del color en la superficie de las muestras con el aumento de las temperaturas (Demiray & Tulek, 2020).

Las diferencias de temperaturas determinaron los valores del parámetro de color. Demiray & Tulek, 2020; Shi & Maguer, 2000; Wang *et al.*, 2023, mencionan que las variaciones del color de los tomates se relacionan más con los valores de a y b , donde un tratamiento térmico intensivo y tiempos prolongados hacen que los valores sean bajos. Asimismo, representa un color que se vuelve más oscuro con el tiempo de almacenamiento, que puede deberse a causas enzimáticas o no enzimáticas del pardeamiento, incluyendo la degradación de carotenoides (licopeno), formación de productos por reacciones de Maillard y reacciones de autooxidación.

Considerando los parámetros de color L^* , a^* y b^* , se encuentra que los valores de la vida útil del color se retienen mayor tiempo cuando es almacenado a 35

°C. A veces es recomendable aumentar ligeramente el color, porque demuestra que el pigmento conserva sus propiedades durante el almacenamiento.

Debido a que los tomates son muy perecederos, el periodo adecuado para su consumo es muy corto, por lo que es importante determinar la vida útil del tomate almacenado a determinadas temperaturas y el efecto del recubrimiento. Una forma de predecir la vida de anaquel en productos perecederos es utilizando métodos confiables, el cual en este estudio se utilizó el modelo matemático de Arrhenius, que bajo diferentes condiciones se describe los atributos de calidad del tomate. En general, los resultados muestran que, a medida que aumenta la temperatura, las pérdidas son mayores en peso, firmeza, SST, pH y color $L^*a^*b^*$. También se determinó que estas características se observan más en RC y RC+EF, debido a la baja barrera del material. En resumen, a temperatura menor, la degradación de los parámetros de calidad se redujo y el testigo conservó mejores propiedades. Se determinó que el pH y el color $L^*a^*b^*$ se muestra estable a 35 °C. El almacenamiento del tomate a diferentes condiciones de temperatura influye en los parámetros de calidad.

CONCLUSIÓN

La caracterización del residuo de cáscara de cebolla mostró que es una materia prima prometedora y un excelente sustrato para su aprovechamiento. La utilización de residuos de cebolla como sustrato mediante un sistema de fermentación sumergida permitió la bioconversión fúngica del material, lo cual aumentó positivamente y se identificaron compuestos bioactivos de gran interés en el extracto fermentado. El aprovechamiento de residuos agroindustriales a través de procesos fermentativos representa una alternativa viable para la producción de compuestos bioactivos y su aplicación a nivel industrial, generando valor agregado a estos desechos.

El extracto generado derivado de la fermentación de los residuos de cebolla contribuyó al efecto inhibidor sobre el hongo *Rhizopus Stolonifer*, ya que presentó características propias, es decir, una mejor concentración del contenido fenólico con función antioxidante y con potencial actividad antifúngica.

Se ha demostrado que la temperatura de almacenamiento es el factor determinante para cambios considerables en la calidad del fruto, así mismo, el tratamiento aplicado también incide en la rápida pérdida de propiedades. Mostrando que la pérdida de parámetros del tomate fue mínima a baja temperatura de almacenamiento, a diferencia con temperaturas más altas donde la pérdida se aceleró, mostrando una pérdida de luminosidad que condujo a la turgencia del color, una característica importante del fruto, así como pérdida de peso, firmeza, SST y pH. El tipo de tratamiento fue otro factor involucrado en la calidad del fruto, observando en los tratamientos RC y principalmente en el RC+EF, los cuales presentaron pronta pérdida de calidad en los frutos, a diferencia de los Testigos, que permanecieron por más tiempo independiente de las condiciones de almacenamiento. Las condiciones de temperatura y el tratamiento aplicado desempeñaron un papel importante en el grado de deterioro de los frutos frescos y, por lo tanto, es decisivo para los cambios de calidad durante el almacenamiento.

Los parámetros evaluados se ajustaron bien mediante modelos cinéticos de orden cero y con el modelo de Arrhenius se presentó la tasa de degradación térmica en función de las temperaturas y el efecto del recubrimiento, para evaluar los cambios de calidad en el fruto modelo. Los resultados mostraron

pérdidas en la tasa de degradación térmica (k), vida útil corta, mayor velocidad de reacción (Q_{10}) y sensibilidad a la temperatura (E_a) en los atributos de calidad del tomate, mayores efectos se observaron en RC y RC+EF. A menor temperatura la degradación de los parámetros de calidad se redujo y el testigo conservó mejores atributos. En los parámetros de pH y color $L^*a^*b^*$, se encontró que los recubrimientos protegen al fruto, reduciendo la velocidad de degradación y preservando mayor vida útil a 35 °C.

Como perspectiva, los modelos matemáticos se pueden acoplar a un modelo de simulación para predecir los cambios en la calidad y la vida útil del tomate, para encontrar condiciones adecuadas que minimicen las pérdidas de calidad. Este trabajo presenta un modelo de predicción que pueden ser utilizados por distribuidores para determinar estrategias y optimizar sus condiciones adecuadas, así mismo ayudar a los consumidores a determinar el momento óptimo para su consumo.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios específicos sobre la formulación del recubrimiento comestible para optimizar sus propiedades físicas, funcionales, mecánicas, ópticas y entre otros, para evitar interferencias con investigaciones posteriores.

Para la mayoría de los atributos evaluados, la aplicación de recubrimientos comestibles efecto negativamente al fruto modelo; sin embargo, se recomienda realizar otro estudio aplicando este recubrimiento a otras variedades de frutos.

Realizar más investigaciones para explorar los cambios en las propiedades físicas y químicas del tomate durante el almacenamiento.

Se recomienda evaluar el efecto del extracto fermentado sobre el fruto como función antifúngica en la formulación polimérica.

REFERENCIA

- Abbasi, N. A., Iqbal, Z., Maqbool, M., & Hafiz, I. A. (2009). Postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L.) fruit as affected by chitosan coating. *Pak. J. Bot.*, 41(1), 343–357.
- Abdón Aguilar, G. (2019). Production of a vegetable biostimulant based on granada residue. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Abebe, Z., Tola, Y. B., & Mohammed, A. (2017). Effects of edible coating materials and stages of maturity at harvest on storage life and quality of tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) fruits. *African Journal of Agricultural Research*, 12(8), 550–565. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11648>
- Abhirami, P., Modupalli, N., & Natarajan, V. (2020). Novel post-harvest intervention using rice bran wax edible coating for shelf-life enhancement of *Solanum lycopersicum* fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12), e14989. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14989>
- Abka-khajouei, R., Tounsi, L., Shahabi, N., Patel, A. K., Abdelkafi, S., & Michaud, P. (2022). Structures, properties and applications of alginates. *Marine Drugs*, 20(6), 364. <https://doi.org/10.3390/md20060364>
- Abouzed, T. K., Contreras, M. del M., Sadek, K. M., Shukry, M., Hady, D. A., Gouda, W. M., Abdo, W., Nasr, N. E., Mekky, R. H., Segura-Carretero, A., Kahilo, K. A.-A., & Abdel-Sattar, E. (2018). Red onion scales ameliorated streptozotocin-induced diabetes and diabetic nephropathy in Wistar rats in relation to their metabolite fingerprint. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 140, 253–264. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2018.03.042>
- Acedo, A.L., 1997. Storage life of vegetables in simple evaporative coolers. *Tropical Science* 37, 169–175.
- Addo, J. K., Osei, M. K., Mochiah, M. B., Bonsu, K. O., Choi, H. S., & Kim, J. G. (2015). Assessment of farmer level postharvest losses along the tomato value chain in three agro-ecological zones of Ghana. *International Journal of Research In Agriculture and Food Sciences*, 2(9), 2311–2476. <http://hdl.handle.net/123456789/1267>
- Al-Dairi, M., & Pathare, P. B. (2021). Kinetic modeling of quality changes of tomato during storage. *Agricultural Engineering International: CIGR journal*, 23(1), 183–193. <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/6423>

- Al-Dairi, M., Pathare, P. B., & Al-Mahdouri, A. (2021). Effect of storage conditions on postharvest quality of tomatoes: A case study at market-level. *Journal of Agricultural and Marine Sciences*, 26(1), 13–20. <https://doi.org/10.24200/jams.vol26iss1pp13-20>
- Al-Dairi, M., Pathare, P. B., & Al-Yahyai, R. (2021a). Effect of postharvest transport and storage on color and firmness quality of tomato. *Horticulturae*, 7(163), 1–15. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7070163>
- Al-Dairi, M., Pathare, P. B., & Al-Yahyai, R. (2021b). Quality changes kinetic of tomato during transportation and storage. *Journal of Food Process Engineering*, 44(10), e13808. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13808>
- Ali, N. M., Yeap, S. K., Ho, W. Y., Beh, B. K., Tan, S. W., & Tan, S. G. (2012). The Promising Future of Chia, *Salvia hispanica* L. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2012/171956>
- Alia-Tejacal, I., Villanueva-Arce, R., Pelayo-Zaldívar, C., Colinas-León, M. T., López-Martínez, V., & Bautista-Baños, S. (2007). Postharvest physiology and technology of sapote mamey fruit (*Pouteria sapota* (Jacq.) HE Moore & Stearn). *Postharvest Biology and Technology*, 45(3), 285–297. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.12.024>
- Alipour, S., Negahban, N., Ahmadi, F., & Parhizkar, E. (2022). The effects of moist heat sterilization process on rheological properties of hydrophilic gels containing drug model. *Trends in Pharmaceutical Sciences*, 8(3), 175–182. <https://doi.org/10.30476/TIPS.2022.94633.1138>
- Alpizar-Reyes, E., Carrillo-Navas, H., Gallardo-Rivera, R., Varela-Guerrero, V., Alvarez-Ramirez, J., & Pérez-Alonso, C. (2017). Functional properties and physicochemical characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid. *Journal of Food Engineering*, 209, 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.021>
- Ameri, A., Heydarirad, G., Jafari, J. M., Ghobadi, A., Rezaeizadeh, H., & Choopani, R. (2015). Medicinal plants contain mucilage used in traditional Persian medicine (TPM). *Pharmaceutical Biology*, 53(4), 615–623. <https://doi.org/10.3109/13880209.2014.928330>
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). En K. Helrich (Ed.), Association of Official Analytical Chemists, Inc: Vol. 1.

- AOCS. (2005). Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. 7th ed. Urbana: The American Oil Chemists' Society, Champaign, IL
- Aoyama, S., & Yamamoto, Y. (2007). Antioxidant activity and flavonoid content of welsh onion (*Allium fistulosum*) and the effect of thermal treatment. *Food Science and Technology Research*, 13(1), 67–72. <https://doi.org/10.3136/fstr.13.67>
- Arah, I. K., Ahorbo, G. K., Anku, E. K., Kumah, E. K., & Amaglo, H. (2016). Postharvest Handling Practices and Treatment Methods for Tomato Handlers in Developing Countries: A Mini Review. *Advances in Agriculture*, 2016, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/6436945>
- Arah, I. K., Kumah, E. K., Anku, E. K., & Amaglo, H. (2015). An overview of post-harvest losses in tomato production in Africa: causes and possible prevention strategies. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(16), 78–89. <https://core.ac.uk/outputs/234661680>
- Arnon, H., Granit, R., Porat, R., & Poverenov, E. (2015). Development of polysaccharides-based edible coatings for citrus fruits: A layer-by-layer approach. *Food Chemistry*, 166, 465–472. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.061>
- Arroyo, B. J., Bezerra, A. C., Oliveira, L. L., Arroyo, S. J., De Melo, E. A., & Santos, A. M. P. (2019). Antimicrobial active edible coating of alginate and chitosan add ZnO nanoparticles applied in guavas (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, 309, 125566. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125566>
- Atanda, S. A., Pessu, P. O., Agoda, S., Isong, I. U., & Ikotun, I. (2011). The concepts and problems of post – harvest food losses in perishable crops. *African Journal of Food Science*, 5(11), 603–613.
- Ayerza, R. (2009). The seed's protein and oil content, fatty acid composition, and growing cycle length of a single genotype of chia (*Salvia hispanica* L.) as affected by environmental factors. *Journal of Oleo Science*, 58(7), 347–354. <https://doi.org/10.5650/jos.58.347>
- Azarakhsh, N., Osman, A., Ghazali, H. M., Tan, C. P., & Mohd Adzahan, N. (2014). Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple. *Postharvest Biology and Technology*, 88, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.09.004>

- Azelee, N. I. W., Manas, N. H. A., Dailin, D. J., Ramli, A. N. M., & Shaarani, S. M. (2020). Biological Treatment of Agro-Industrial Waste. In D. J. Zakaria Z., Boopathy R. (Ed.), *Valorisation of Agro-industrial Residues-Volume I: Biological Approaches. Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future* (pp. 59–79). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39137-9_3
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>
- Baninaiem, E., Mirzaaliandastjerdi, A. M., Rastegar, S., & Abbaszade, K. (2016). Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on quality characteristics of tomato during cold storage. *Advances in Horticultural Science*, 30(3), 183–192. <https://doi.org/10.13128/ahs-20281>
- Barbero-López, A. (2020). Antifungal Activity of Several Vegetable Origin Household Waste Extracts Against Wood - Decaying Fungi In Vitro. *Waste and Biomass Valorization*, 12(3), 1237–1241. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01069-3>
- Basumatary, I. B., Mukherjee, A., Katiyar, V., & Kumar, S. (2020). Biopolymer-based nanocomposite films and coatings: recent advances in shelf-life improvement of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–24. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1848789>
- Batu, A. (1998). Some factors affecting on determination and measurement oftomato firmness. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 22(4), 411–418. <https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol22/iss4/15>
- Behbahani, B. A., Shahidi, F., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., & Mohebbi, M. (2017). Use of *Plantago major* seed mucilage as a novel edible coating incorporated with *Anethum graveolens* essential oil on shelf life extension of beef in refrigerated storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 94, 515–526. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.055>
- Beikzadeh, S., Khezerlou, A., Jafari, S. M., Pilevar, Z., & Mortazavian, A. M. (2020). Seed mucilages as the functional ingredients for biodegradable films and edible coatings in the food industry. *Advances in Colloid and Interface Science*, 280, 102164. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102164>

- Benítez, V., Mollá, E., Martín-cabrejas, M. A., Aguilera, Y., López-Andréu, Francisco, J., Cools, K., Terry, L. A., & Esteban, R. M. (2011a). Characterization of Industrial Onion Wastes (*Allium cepa* L.): Dietary Fibre and Bioactive Compounds. *Plant Foods Hum Nutr*, 66(1), 48–57. <https://doi.org/10.1007/s11130-011-0212-x>
- Benítez, V., Mollá, E., Martín-Cabrejas, M. A., Aguilera, Y., López-Andréu, F. J., & Esteban, R. M. (2011b). Effect of sterilisation on dietary fibre and physicochemical properties of onion by-products. *Food Chemistry*, 127(2), 501–507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.031>
- Benítez, V., Mollá, E., Martín-Cabrejas, M. A., Aguilera, Y., López-Andréu, F. J., & Esteban, R. M. (2012). Onion Products: Source of healthy compounds. Nova Science Publishers. <http://hdl.handle.net/10261/63861>
- Ben-Othman, S., Jõudu, I., & Bhat, R. (2020). Bioactives from Agri-Food Wastes: Present Insights and Future Challenges. *Molecules*, 25(3), 510. <https://doi.org/10.3390/molecules25030510>
- Blix, G. (1948). The determination of hexosamines according to Elson and Morgan. *Acta chemica Scandinavica*, 2, 467–473.
- Blue, D., Fortela, D. L., Holmes, W., Lacour, D., Leboeuf, S., Stelly, C., Subramaniam, R., Hernandez, R., Zappi, M. E., & Revellame, E. D. (2019). Valorization of Industrial Vegetable Waste Using Dilute HCl Pretreatment. *Processes*, 7(11), 853. <https://doi.org/doi:10.3390/pr7110853>
- Blue, D., Fortela, D. L., Holmes, W., Leboeuf, S., Subramaniam, R., Hernandez, R., Zappi, M. E., & Revellame, E. D. (2021). Alkali pretreatment of industrial mixed vegetable waste for fermentable sugar production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 0123456789, 1–11. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01608-5>
- Brasil, I. M., Gomes, C., Puerta-Gomez, A., Castell-Perez, M. E., & Moreira, R. G. (2012). Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. *LWT - Food Science and Technology*, 47(1), 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.005>
- Calligaris, S., Manzocco, L., Anese, M., & Nicoli, M. C. (2019). Accelerated shelf life testing. *En Food Quality and Shelf Life*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817190-5.00012-4>

- Cardona, C. E. O., & Fernández, X. A. (2020). Quitosano: una alternativa sustentable para el empaque de alimentos. *Revista Digital Universitaria*, 21(5). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2020.21.5.4>
- Carranza, T., Zalba-balda, M., Baraibar, M. J. B., De la Caba, K., & Guerrero, P. (2023). Effect of sterilization processes on alginate/gelatin inks for three-dimensional printing. *International Journal of Bioprinting*, 9(1), 645. <https://doi.org/10.18063/ijb.v9i1.645>
- Castillo, S. L., Alvarado, J. M., Báez, J. G., Macías, E., Ramírez-Baca, P., Candelas-Cadillo, M. G., & Gallardo, C. T. (2017). Diseño de micropartículas de alginato con matriz prebiótica de aloe vera para la encapsulación de *Lactobacillus plantarum*. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2, 531–536. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/23749>
- Cebin, A. V., Šeremet, D., Mandura, A., Martinić, A., & Komes, D. (2020). Onion Solid Waste as a Potential Source of Functional Food Ingredients. *Engineering Power: Bulletin of the Croatian Academy of Engineering*, 15(3), 7–13. <https://hrcak.srce.hr/244899>
- Celano, R., Docimo, T., Piccinelli, A. L., Gaggero, P., Tucci, M., Sanzo, R. Di, Carabetta, S., Campone, L., Russo, M., & Rastrelli, L. (2021). Onion Peel: Turning a Food Waste into a Resource. *Antioxidants*, 10(2), 304. <https://doi.org/10.3390/antiox10020304>
- Chan, E. (2011). Preparation of Ca-alginate beads containing high oil content: Influence of process variables on encapsulation efficiency and bead properties. *Carbohydrate Polymers*, 84(4), 1267–1275. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.01.015>
- Chang, C., & Webb, C. (2016). Production of a generic microbial feedstock for lignocellulose biorefineries through sequential bioprocessing. *Bioresource Technology*, 227(35–43). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.055>
- Cheng, L., Luo, J., Li, P., Yu, H., Huang, J., & Luo, L. (2014). Microbial diversity and flavor formation in onion fermentation. *Food and Function*, 5(9), 2338–2347. <https://doi.org/10.1039/c4fo00196f>
- Cherono, K., & Workneh, T. S. (2018). A review of the role of transportation on the quality changes of fresh tomatoes and their management in South Africa and other emerging markets. *International Food Research Journal*, 25(6), 2211–2228. [http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20\(06\)%202018/\(1\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20(06)%202018/(1).pdf)

- Cherono, K., Sibomana, M., & Workneh, T. S. (2018). Effect of infield handling conditions and time to pre-cooling on the shelf-life and quality of tomatoes. *Brazilian Journal of Food Technology*, 21(0). <https://doi.org/10.1590/1981-6723.01617>
- Chiabrando, V., & Giacalone, G. (2013). Effect of different coatings in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut nectarines (cv Big Top). *CyTA-Journal of Food*, 11(3), 285–292. <https://doi.org/10.1080/19476337.2012.745096>
- Ching, S. H., Bansal, N., & Bhandari, B. (2017). Alginate gel particles – A review of production techniques and physical properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(6), 1133–1152. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.965773>
- Cho, E. J., Choi, Y., & Bae, H. (2021). Bioconversion of Onion Waste to Valuable Biosugar as an Alternative Feed Source for Honey Bee. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01344-x>
- Choi, I. S., Cho, E. J., Moon, J., & Bae, H. (2015a). Onion skin waste as a valorization resource for the by-products quercetin and biosugar. *Food Chemistry*, 188, 537–542. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.028>
- Choi, I. S., Lee, Y. G., Khanal, S. K., Park, B. J., & Bae, H.-J. (2015b). A low-energy, cost-effective approach to fruit and citrus peel waste processing for bioethanol production. *Applied Energy*, 140, 65–74. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.11.070>
- Contreras-López, E., Jaimez-Ordaz, J., Ugarte-Bautista, I., Ramírez-Godínez, J., González-Olivares, L. G., García-Curiel, L., & Pérez-Flores, J. G. (2022). Use of image analysis to determine the shelf-life of an apple compote with wine. *Food Science and Technology*, 42, e04122. <https://doi.org/10.1590/fst.04122>
- Coradi, G. V., Visitação, V. L. da, Lima, E. A. de, Saito, L. Y. T., Palmieri, D. A., Takita, M. A., Neto, P. D. O., & Lima, V. M. G. de. (2013). Comparing submerged and solid-state fermentation of agro-industrial residues for the production and characterization of lipase by *Trichoderma harzianum*. *Annals of microbiology*, 63(2), 533–540. <https://doi.org/10.1007/s13213-012-0500-1>
- Costa, M. J., Marques, A. M., Pastrana, L. M., Teixeira, J. A., Sillankorva, S. M., & Cerqueira, M. A. (2018). Physicochemical properties of alginate-based

films: effect of ionic crosslinking and mannuronic and guluronic acid ratio. *Food hydrocolloids*, 81, 442-448. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.014>

Cozmuta, A. M., Purbayanto, M. A. K., Jastrzębska, A., Peter, A., Nicula, C., Uivarasan, A., & Cozmuta, L. M. (2023). Thermal stability and in vitro digestion of alginate – starch – iron beads for oral delivery of iron. *Food Hydrocolloids*, 142, 108808. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108808>

Cruz-Tirado, J. P., Oliveira, M., Filho, M. de J., Godoy, H. T., Amigo, J. M., & Barbin, D. F. (2020). Shelf life estimation and kinetic degradation modeling of chia seeds (*Salvia hispanica*) using principal component analysis based on NIR-hyperspectral imaging. *Food Control*, 123(107777), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107777>

Cui, J., Yang, M., Son, D., Park, S., & Cho, S.-I. (2018). Estimation of Tomato Bruising by Mechanical Impact Force Using Multivariate Analysis. *HortScience*, 53(9), 1352–1359. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13066-18>

Damasceno, L. F., Fernandes, F. A. N., Magalhães, M. M. A., & Brito, E. S. (2008). Non-enzymatic browning in clarified cashew apple juice during thermal treatment: Kinetics and process control. *Food Chemistry*, 106(1), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.063>

Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (2007). *Fennema's Food Chemistry*. En CRC Press (Fourth Edi). <https://doi.org/10.1515/9783110793765-002>.

De Farias, Y. B., & Noreña, C. P. Z. (2019). Reverse encapsulation using double controlled gelification for the production of spheres with liquid light soy sauce-core. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 16, 100137. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100137>

Demir, H., Yıldız, M. K., Becerikli, İ., Unluturk, S., & Kaya, Z. (2019). Assessing the impact of non-thermal and thermal treatment on the shelf-life of onion juice. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(6), 480–486. <https://doi.org/10.17221/163/2018-cjfs>

Demiray, E., & Tulek, Y. (2020). Color and ascorbic acid degradation kinetics of red pepper (*Capsicum annuum* L.) slices during vacuum drying. *Akademik Gıda*, 18(1), 19–26. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.730013>

Díaz-Herrera, R., Aguilar-Zarate, P., Buenrostro-Figueroa, J. J., Prado-Barragán, A., Ascacio, J. A., & C.N., A. (2020). Influence of forced aeration

and packing density on the ellagitannase production by solid-state fermentation. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 14(23), 17–21.

Dick, M., Costa, T. M. H., Gomaa, A., Subirade, M., Rios, A. D. O., & Flôres, S. H. (2015). Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 130, 198–205. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.040>

Domene Ruiz, M. Á., & Segura Rodríguez, M. (2014). Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria. *Negocios Agroalimentario Cooperativo*, 5, 1–18. <https://www.cajamar.es/storage/documents/005-calidad-interna-1410512030-cc718.pdf>

Downes, K., Chope, G. A., & Terry, L. A. (2009). Effect of curing at different temperatures on biochemical composition of onion (*Allium cepa* L.) skin from three freshly cured and cold stored UK-grown onion cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 54(2), 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.05.005>

Draget, K. I., Skjåk-Bræk, G., & Smidsrød, O. (1997). Alginate based new materials. *International journal of biological macromolecules*, 21(1–2), 47–55. [https://doi.org/10.1016/s0141-8130\(97\)00040-8](https://doi.org/10.1016/s0141-8130(97)00040-8)

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350–356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>

Efentakis, M., & Buckton, G. (2002). The effect of erosion and swelling on the dissolution of theophylline from low and high viscosity sodium alginate matrices. *Pharmaceutical Development and Technology*, 7(1), 69–77. <https://doi.org/10.1081/pdt-120002232>

El Mashad, H. M., Zhang, R., & Pan, Z. (2019). Onion and Garlic. En Z. Pan, R. Zhang, & S. Zicari (Eds.), *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products* (Academic P). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00011-3>

Elsebaie, E. M., & Essa, R. Y. (2018). Microencapsulation of red onion peel polyphenols fractions by freeze drying technicality and its application in cake.

Journal of Food Processing and Preservation, 42(7), e13654.
<https://doi.org/10.1111/jfpp.13654>

Esercizio, N., Lanzilli, M., Vastano, M., Landi, S., Xu, Z., Gallo, C., Nuzzo, G., Manzo, E., Fontana, F & d' Ippolito, G. (2021). Fermentation of Biodegradable Organic Waste by the Family Thermotogaceae. *Resources*, 10(4), 34. doi:10.3390/resources10040034

Fagundes, C., Palou, L., Monteiro, A. R., & Pérez-Gago, M. B. (2014). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-beeswax edible coatings on gray mold development and quality attributes of cold-stored cherry tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 92, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.01.006>

FAO, 2022. Perdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. Disponible en: <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/239393/>
 FAOSTAT, 2020. Base de datos estadísticos FAO. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>,
<https://www.fao.org/faostat/es/#data/TCL>.

Fazenda, M. L., Seviour, R., McNeil, B., & Harvey, L. M. (2008). Submerged Culture Fermentation of “Higher Fungi”: The Macrofungi. *Advances in Applied Microbiology*, 63, 33–103. [https://doi.org/10.1016/S0065-2164\(07\)00002-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2164(07)00002-0)
 Fermentation. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 11(3), 879–881.

Ferreira, I., Marques, A. C., Costa, P. C., & Amaral, M. H. (2023). Effects of steam sterilization on the properties of stimuli-responsive polymer-based hydrogels. *Gels*, 9(5), 385. <https://doi.org/10.3390/gels9050385>

Fischer, G., & Martinez, O. (1999). Quality and maturity of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to fruit coloring. *Agronomía Colombiana*, 16, 35–39. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/25079>

Flores-López, M. L., Cerqueira, M. A., de Rodríguez, D. J., & Vicente, A. A. (2016). Perspectives on Utilization of Edible Coatings and Nano-laminate Coatings for Extension of Postharvest Storage of Fruits and Vegetables. *Food Engineering Reviews*, 8(3), 292–303. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9135-x>

Fredotović, Ž., Puizina, J., Nazlić, M., Maravić, A., Ljubenković, I., Soldo, B., Vuko, E., & Bajić, D. (2021). Phytochemical Characterization and Screening of

- Antioxidant, Antimicrobial and Antiproliferative Properties of *Allium x cornutum* Clementi and Two Varieties of *Allium cepa* L. Peel Extracts. *Plants*, 10(5) (832), 3–15. <https://doi.org/10.3390/plants10050832>
- Fredotović, Ž., Soldo, B., Šprung, M., Marijanović, Z., Jerković, I., & Puizina, J. (2020). Comparison of organosulfur and amino acid composition between triploid onion *Allium cornutum clementi* ex visiani, 1842, and common onion *Allium cepa* L., and evidences for antiproliferative activity of their extracts. *Plants*, 9(1), 98. <https://doi.org/10.3390/plants9010098>
- Fritsch, R. M., & Friesen, N. (2002). Evolution, Domestication and Taxonomy. En H. Rabinowitch & L. Currah (Eds.), *Allium Crop Science: Recent Advances*. <https://doi.org/10.1079/9780851995106.0005>
- Fu, B., & Labuza, T. P. (1993). Shelf-life prediction: theory and application. *Food Control*, 4(3), 125–133. [https://doi.org/10.1016/0956-7135\(93\)90298-3](https://doi.org/10.1016/0956-7135(93)90298-3)
- Funami, T., Fang, Y., Noda, S., Ishihara, S., Nakauma, M., Draget, K. I., Nishinari, K., & Phillips, G. O. (2009). Rheological properties of sodium alginate in an aqueous system during gelation in relation to supermolecular structures and Ca²⁺ binding. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1746–1755. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2009.02.014>
- García, C. B., & Molina, M. E. C. (2008). Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. *Ingeniería*, 18(1–2), 57–64.
- George, M., & Abraham, T. E. (2006). Polyionic hydrocolloids for the intestinal delivery of protein drugs: Alginate and chitosan-a review. *Journal of Controlled Release*, 114(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2006.04.017>
- Gharezi, M., Joshi, N., & Sadeghian, E. (2012). Effect of post harvest treatment on stored cherry tomatoes. *J. Nutr. Food Sci.*, 2(8), 1–10. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000157>
- Godana, E. A., Satheesh, N., & Taye, A. H. (2015). Effect of storage methods and ripening stages on postharvest quality of tomato (*Lycopersicon Esculentum* Mill) cv. Chali. *Annals. Food Science and Technology*, 6(1), 127–137. <https://www.researchgate.net/publication/280717608>
- Goh, K. K. T., Matia-Merino, L., Chiang, J. H., Quek, R., Soh, S. J. B., & Lentle, R. G. (2016). The physico-chemical properties of chia seed polysaccharide and its microgel dispersion rheology. *Carbohydrate Polymers*, 149, 297–307. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.126>

- Gómez Gómez, M. S. (2009). Deshidratado de tomate saladette en un secador de charolas giratorias [Universidad Tecnológica de la Mixteca]. http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10991.pdf
- Gontard, N., Duchez, C., Cuq, J.-L., & Guilbert, S. (1994). Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 29(1), 39–50. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02045.x>
- Gorini, F. (2018). Guía completa del cultivo del tomate. USA. Editorial de Vecchi. Parkstone International.
- Gouin, S. (2004). Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in food science & technology*, 15(7–8), 330–347. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.005>
- Grancieri, M., Martino, H. S. D., & Gonzalez de Mejia, E. (2019). Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) as a Source of Proteins and Bioactive Peptides with Health Benefits: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(2), 480–499. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12423>
- Greeshma, K. P., Muthulingam, S., Thamizselvi, R., & Venkatamani, G. P. (2020). GSC Advanced Research and Reviews Phytochemical analysis and a review on biological importance of *Allium cepa* L. *GSC Advanced Research and Reviews*, 02(02), 18–24. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2020.2.2.0004>
- Griffiths, G., Trueman, L., Crowther, T., Thomas, B., & Smith, B. (2002). Onions — A Global Benefit to Health. *Phytotherapy Research*, 16(7), 603–615. <https://doi.org/10.1002/ptr.1222>
- Guillamón, E. (2018). Effect of phytochemical compounds of the genus *Allium* on the immune system and the inflammatory response. *Ars Pharmaceutica*, 59(3), 185-196. <https://dx.doi.org/10.30827/ars.v59i3.7479>
- Gutiérrez-Jara, C., Bilbao-Sainz, C., Mchugh, T., Chiou, B., Williams, T., & Villalobos-Carvajal, R. (2021). Effect of cross-linked alginate/oil nanoemulsion coating on cracking and quality parameters of sweet cherries. *Foods*, 10(2), 449. https://doi.org/10.3390/foods1002_0449
- Guzmán-Carrillo, L. E., Martínez-Duque, D. P., Martínez-Zuluaga, D. E., Acevedo, D., & Montero, P. M. (2016). Study of useful life of ham through accelerated testing. *Interciencia*, 41(7), 488–491. https://doi.org/https://ciencia.lasalle.edu.co/scopus_unisalle/366.

- Hahn, F. (2002). Fungal spore detection on tomatoes using spectral fourier signatures. *Biosystems engineering*, 81(3), 249–259. <https://doi.org/10.1006/bioe.2001.0036>
- Han, J. H., & Scanlon, M. G. (2014). Mass Transfer of Gas and Solute Through Packaging Materials. En *Innovations in Food Packaging*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00003-5>
- Hernández Madrigal, J. V., Madrigal Ambriz, L. V., Pérez Valadez, M. E., Carvajal García, T. I., & Orendain Sánchez, J. G. (2019). Comparación de dos métodos de extracción de mucílago de chan sobre sus características fisico-químicas. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 866–872.
- Hernandez, A., Alfaro, I., & Arrieta, R. (2003). *Microbiología Industrial*. Universidad Estatal a Distancia.
- Hernández, E., Aceituno-Medina, M., Dohino, T., Caro-Corrales, J., & Hallman, G. (2020). Tratamientos Fitosanitarios de Poscosecha. En *Moscas de la Fruta: Fundamentos y Procedimientos para su Manejo*. 16 (pp. 301–331). <https://www.researchgate.net/publication/340807102>
- Horiuchi, J., Tada, K., Kobayashi, M., Kanno, T., & Ebie, K. (2004). Biological approach for effective utilization of worthless onions — vinegar production and composting. *Resources, Conservation and Recycling*, 40(2), 97–109. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(03\)00036-3](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(03)00036-3)
- Hrnčič, M. K., Ivanovski, M., Cör, D., & Knez, Ž. (2020). Chia Seeds (*Salvia Hispanica* L.): An Overview—Phytochemical Profile, Isolation Methods, and Application. *Molecules*, 25(1), 11. <https://doi.org/10.3390/molecules25010011>
- Hurtado, A., Aljabali, A. A. A., Mishra, V., Tambuwala, M. M., & Serrano-aroca, Á. (2022). Alginate: enhancement strategies for advanced applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 4486. <https://doi.org/10.3390/ijms23094486>
- Hussain, S., Jõudu, I., & Bhat, R. (2020). Dietary Fiber from Underutilized Plant Resources — A Positive Approach for Valorization of Fruit and Vegetable Wastes. *Sustainability*, 12(13), 5401. <https://doi.org/doi:10.3390/su12135401>
- Inamuddin, & Khan, A. (2021). Sustainable Bioconversion of Waste to Value Added Products (A. M. Palve, R. Arukula, & R. K. Gupta (eds.)). *Bioconversion*

of Biowastes for Energy Applications. *Advances in Science, Technology & Innovation*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61837-7>

İpek, P., Baran, M. F., Baran, A., Hatipoğlu, A., Keskin, C., Yildiztekin, M., Küçükaydin, S., Becerekli, H., Kurt, K., Eftekhari, A., Huseynova, I., Khalilov, R., & Cho, W. C. (2023). Green synthesis and evaluation of antipathogenic, antioxidant, and anticholinesterase activities of gold nanoparticles (Au NPs) from *Allium cepa* L. peel aqueous extract. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-04362-y>

Jaime, L., Mollá, E., Fernández, A., Martín-Cabrejas, M. A., López-Andréu, F. J., & Esteban, R. M. (2002). Structural Carbohydrate Differences and Potential Source of Dietary Fiber of Onion (*Allium cepa* L.) Tissues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(1), 122–128. <https://doi.org/10.1021/jf010797t>

Jaramillo N, J., Rodríguez, V. P., Guzmán A, M., Zapata, M., & Rengifo M, T. (2007). *Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de tomate bajo condiciones protegidas*. Roma, Italia. CORPOICA – MANA – GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA - FAO.

Jasso de Rodríguez, D., Salas-Méndez, E. de J., Rodríguez-García, R., Hernández-Castillo, F. D., Díaz-Jiménez, M. L. V., Sáenz-Galindo, A., González-Morales, S., Flores-López, M. L., Villarreal-Quintanilla, J. A., Peña-Ramos, F. M., & Carrillo-Lomelí, D. A. (2017). Antifungal activity in vitro of ethanol and aqueous extracts of leaves and branches of *Flourensia* spp. against postharvest fungi. *Industrial Crops & Products*, 107, 499–508. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.054>

Javanmardi, J., & Kubota, C. (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2), 151–155. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.008>

Kader, A. A. (2013). *Postharvest Technology of Horticultural Crops - An Overview from Farm to Fork*. *Ethiopian Journal of Applied Science and Technology*, 1, 1–8.

Kale, S. J., & Nath, P. (2018). Kinetics of quality changes in tomatoes stored in evaporative cooled room in hot region. *International Journal of Current*

Microbiology and Applied Sciences, 7(06), 1104–1112.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.706.131>

Kamel, R., Afifi, S. M., Kassem, I. A. A., Elkasabgy, N. A., & Farag, M. A. (2020). Arabinoxylan and rhamnogalacturonan mucilage: Outgoing and potential trends of pharmaceutical, environmental, and medicinal merits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 2550–2564.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.175>

Kannah, R. Y., Merrylin, J., Devi, T. P., Kavitha, S., Sivashanmugam, P., Kumar, G., & Banu, J. R. (2020). Food waste valorization: Biofuels and value added product recovery. *Bioresource Technology Reports*, 11, 100524.
<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100524>

Kerkhofs, N. S., Lister, C. E., & Savage, G. P. (2005). Change in colour and antioxidant content of tomato cultivars following forced-air drying. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60(3), 117–121. <https://doi.org/10.1007/s11130-005-6839-8>

Kilcast, D., & Subramaniam, P. (2000). The stability and shelf-life of food (D. Kilcast & P. Subramaniam (eds.); Ilustrada,). Woodhead Publishing Limited.
<https://doi.org/10.1016/C2015-0-06842-3>

Kim, H. M., Song, Y., Wi, S. G., & Bae, H. (2017). Production of D -tagatose and bioethanol from onion waste by an intergrating bioprocess. *Journal of Biotechnology*, 260, 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2017.09.013>

Kimoto-Nira, H., Ohashi, Y., Amamiya, M., Moriya, N., Ohmori, H., & Sekiyama, Y. (2019). Fermentation of onion (*Allium cepa* L.) peel by lactic acid bacteria for production of functional food. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(1), 142–149. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00276-4>

Ko, M., Cheigh, C., Cho, S., & Chung, M. (2011). Subcritical water extraction of flavonol quercetin from onion skin. *Journal of Food Engineering*, 102(4), 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.09.008>

Krähmer, A., Böttcher, C., Gudi, G., Stürtz, M., & Schulz, H. (2021). Application of ATR-FTIR spectroscopy for profiling of non-structural carbohydrates in onion (*Allium cepa* L.) bulbs. *Food Chemistry*, 360, 129978.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129978>

- Kriaa, M., & Kammoun, R. (2015). Producing *Aspergillus tubingensis* CTM507 Glucose oxidase by Solid state fermentation versus submerged fermentation: process optimization and enzyme stability by an intermediary metabolite in relation with diauxic growth. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 91(5), 1540–1550. <https://doi.org/10.1002/jctb.4753>
- Kumar, A., & Saini, C. S. (2021). Edible composite bi-layer coating based on whey protein isolate, xanthan gum and clove oil for prolonging shelf life of tomatoes. *Measurement: Food*, 2, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2021.100005>
- Kumar, S., Thakur, M., & Rani, A. (2014). *Trichoderma*: Mass production, formulation, quality control, delivery and its scope in commercialization in India for the management of plant diseases. *African Journal of Agricultural Research*, 9(53), 3838–3852. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9061>
- Latamseeds. (2023). Semillas & Hortalizas. Consultado el 19 de septiembre de 2023. Disponible en: <https://www.latamseeds.mx/>
- Lee, E. J., Patil, B. S., & Yoo, K. S. (2015). Antioxidants of 15 onions with white, yellow, and red colors and their relationship with pungency, anthocyanin, and quercetin. *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.028>
- Lee, E. J., Yoo, K. S., Jifon, J., & Patil, B. S. (2009). Characterization of shortday onion cultivars of 3 pungency levels with flavor precursor, free amino acid, sulfur, and sugar contents. *Journal of Food Science*, 74(6), C475–C480. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01243.x>
- Lee, K. A., Kim, K., Kim, H. J., Chung, M., Chang, P., Park, H., & Paik, H.-D. (2014). Antioxidant Activities of Onion (*Allium cepa* L.) Peel Extracts Produced by Ethanol, Hot Water, and Subcritical Water Extraction. *Food Science and Biotechnology*, 23(2), 615–621. <https://doi.org/10.1007/s10068-014-0084-6>
- Lee, Y. G., Cho, J.-Y., Kim, Y., & Moon, J. (2016). Change in Flavonoid Composition and Antioxidative Activity during Fermentation of Onion (*Allium cepa* L.) by *Leuconostoc mesenteroides* with Different Salt Concentrations. *Journal of Food Science*, 81(6), 1385–1393. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13329>

- Leo, W. J., Mcloughlin, A. J., & Malone, D. M. (1990). Effects of sterilization treatments on some properties of alginate solutions and gels. *Biotechnology progress*, 6(1), 51–53. <https://doi.org/10.1021/bp00001a008>
- Li, Z., Andrews, J., & Wang, Y. (2017). Mathematical modelling of mechanical damage to tomato fruits. *Postharvest Biology and Technology*, 126, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.12.001>
- Lima, L. G. R., Gonçalves, M. M. M., Couri, S., Melo, V. F., Sant'Ana, G. C. F., & Costa, A. C. A. (2019). Lipase Production by *Aspergillus niger* C by Submerged Fermentation. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 62, 1–14. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2019180113>
- Lin, D., & Zhao, Y. (2007). Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6(3), 60–75. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2007.00018.x>
- Lin, K.-Y., Daniel, J. R., & Whistler, R. L. (1994). Structure of chia seed polysaccharide exudate. *Carbohydrate polymers*, 23(1), 13–18.
- López Marín, L. M. (2016). Manual técnico del cultivo de tomate: *Solanum lycopersicum*. San José, Costa Rica. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. INTA. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10921.pdf>
- Lupo Pasin, B. (2014). Estudio de la gelificación de alginatos para encapsulación: caracterización, preparación y aplicaciones en alimentos funcionales [Universitat de Barcelona]. <http://hdl.handle.net/2445/64943>
- Makkar, H. P. S., Blummel, M., Borowy, N. K., & Becker, K. (1993). Gravimetric determination of tannins and their correlations with chemical and protein precipitation methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 61(2), 161–165. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740610205>
- Mandal, D., Lalhmingchawii, C., Hazarika, T. K., & Shukla, A. C. (2018). Effect of chitosan, wax and particle film coating on shelf life and quality of tomato cv. Samrudhi at ambient storage. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 9(1), 111–116. <https://www.researchgate.net/publication/322617001>
- Mardani, N., Jahadi, M., Sadeghian, M., Keighobadi, K., & Khosravi-Darani, K. (2023). Antimicrobial activities, phenolic and flavonoid contents, antioxidant

and DNA protection of the internal and outer layers of *Allium cepa* L. from Iran. *NFS Journal*, 31, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2023.03.003>

Martinez-Avila, G. C. G., Aguilera, A. F., Saucedo, S., Rojas, R., Rodriguez, R., & Aguilar, C. N. (2014). Fruit wastes fermentation for phenolic antioxidants production and their application in manufacture of edible coatings and films. *Critical reviews in food science and nutrition*, 54(3), 303–311. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.584135>

Martínez-Damián, M. T., Cano-Hernández, R., Moreno-Pérez, E. del C., & Sánchez-del Castillo, Felipe Cruz-Álvarez, O. (2019). Effect of preharvest growth bioregulators on physicochemical quality of saladette tomato. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25(1), 29–43. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.06.013>

Mashad, H. M. El, Zhang, R., & Pan, Z. (2019). Onion and Garlic. In *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products* (Academic P, Issue 2005). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814138-0.00011-3>

Medina, M. T. Á., Ramírez, M. A. N., & Amezaga, T. R. W. (2017). Characterization of the of Red Fresh Tomato Value Chain in Mexico. *Revista Global de Negocios*, 5(3), 45–58. <https://ssrn.com/abstract=2914481>

Medina-Morales, M., Rojas-Molina, R., Rodríguez-Herrera, R. & Aguilar, C. N. (2011) 'Manual de Métodos de Laboratorio del Departamento de Investigación en Alimentos de la Universidad Autónoma de Coahuila. DIA-UAdeC.1, 11– 13. Saltillo, Coahuila, México.

MEFCCA. (2023). Cultivo de chia. <https://www.economiafamiliar.gob.ni/websitemefcca-mvc/documentos/>

Mehta, N., Kumar, P., Verma, A. K., Umaraw, P., Kumar, Y., Malav, O. P., Sazili, A. Q., Domínguez, R., & Lorenzo, J. M. (2022). Microencapsulation as a noble technique for the application of bioactive compounds in the food industry: A comprehensive review. *Applied Sciences*, 12(3), 1424. <https://doi.org/10.3390/app12031424>

Messina, V., Dominguez, G., Sancho, A. M., Walsøe de Reca, N., Carrari, F., & Grigioni, G. (2012). Tomato quality during short-term storage assessed by colour and electronic nose. *International Journal of Electrochemistry*, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2012/687429>

- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428. <https://doi.org/doi:10.1021/ac60147a030>
- Minh, N. P. (2019). Technical Factors Affecting To Pickle Shallot (*Allium Ascalonicum*)
- Moreno Velázquez, D., Cruz Romero, W., García Lara, E., Ibañez Martínez, A., Barrios Díaz, J. M., & Barrios Díaz, B. (2013). Postharvest physicochemical changes in three cucumber cultivars with and without plastic film. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(6), 909–920.
- Moreno-Ortega, A., Pereira-Caro, G., Ordóñez, J. L., Muñoz-Redondo, J. M., Moreno-Rojas, R., Pérez-Aparicio, J., & Moreno-Rojas, J. M. (2019). Changes in the antioxidant activity and metabolite profile of three onion varieties during the elaboration of 'black onion'. *Food Chemistry*, 311, 125958. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125958>
- Motyka, S., Koc, K., Ekiert, H., Blicharska, E., Czarnek, K., & Szopa, A. (2022). The Current State of Knowledge on *Salvia hispanica* and *Salviae hispanicae* semen (Chia Seeds). *Molecules*, 27(4), 1207. <https://doi.org/10.3390/molecules27041207>
- Mousavi, S. R., Rahmati-Joneidabad, M., & Noshad, M. (2021). Effect of chia seed mucilage / bacterial cellulose edible coating on bioactive compounds and antioxidant activity of strawberries during cold storage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 618–623. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.213>
- Mujtaba, M., Ali, Q., Yilmaz, B. A., Kurubas, M. S., Ustun, H., Erkan, M., Kaya, M., Cicek, M., & Oner, E. T. (2023). Understanding the effects of chitosan, chia mucilage, levan based composite coatings on the shelf life of sweet cherry. *Food Chemistry*, 416, 135816. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135816>
- Muñoz, L. A., Aguilera, J. M., Rodríguez-Turienzo, L., Cobos, A., & Diaz, O. (2012a). Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate. *Journal of Food Engineering journal*, 111(3), 511–518. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.02.031>
- Muñoz, L. A., Cobos, A., Diaz, O., & Aguilera, J. M. (2012b). Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of Food*

- Engineering journal, 108(1), 216–224.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.037>
- Murmu, S. B., & Mishra, H. N. (2018). The effect of edible coating based on Arabic gum, sodium caseinate and essential oil of cinnamon and lemon grass on guava. Food Chemistry, 245, 820–828.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.104>
- Namnuch, N., Thammasittirong, A., & Thammasittirong, S. N.-R. (2021). Lignocellulose hydrolytic enzymes production by *Aspergillus flavus* KUB2 using submerged fermentation of sugarcane bagasse waste. Mycology, 12(2), 119–127. <https://doi.org/10.1080/21501203.2020.1806938>
- Ncama, K., Magwaza, L. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2018). Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. Food Packaging and Shelf Life, 16, 157–167.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.011>
- Nguyen, L. T., Tay, A., Balasubramaniam, V. M., Legan, J. D., Turek, E. J., & Gupta, R. (2010). Evaluating the impact of thermal and pressure treatment in preserving textural quality of selected foods. Food Science and Technology, 43(3), 525–534. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.09.022>.
- Nicoli, M.C. (Ed.). (2012). Shelf Life Assessment of Food (1st ed.). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/b11871>.
- Nizamani, S., Khaskheli, A. J., Khaskheli, A. A., Jiskani, A. M., Khaskheli, S. A., Poussio, G. B., Jamro, H.-R., & Khaskheli, M. I. (2021). The Intensity of Tomato Post-Harvest Rot in the Surroundings of Tandojam. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 9(2), 288–295.
<https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i2.288-295.3798>
- Nurcahyo, H., Sumiwi, S. A., Halimah, E., & Wilar, G. (2020). Total Flavonoid Levels of Ethanol Extract and Ethyl Acetate Fraction Dry Shallots (*Allium cepa* L. var. Garden Onion of Brebes) with Maceration Methods Using UV-Vis Spectrophotometry. Systematic Reviews in Pharmacy, 11(10), 286–289.
<https://doi.org/10.31838/srp.2020.10.48>
- Nutongkaew, T., Prasertsan, P., Leamdum, C., Sattayasamitsathit, S., & Noparat, P. (2019). Bioconversion of Oil Palm Trunk Residues Hydrolyzed by Enzymes from Newly Isolated Fungi and Use for Ethanol and Acetic Acid Production Under Two - Stage and Simultaneous Fermentation. Waste and

Biomass Valorization, 11(4), 1333–1347. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00678-x>

Ocampo Muñoz, J. A. (2003). Determinación de la vida de anaquel del café soluble elaborado por la empresa Decafé S.A. y evaluación del tipo de empaque en la conservación del producto. Universidad Nacional de Colombia.

Olawuyi, I. F., Kim, S. R., & Lee, W. Y. (2021). Application of plant mucilage polysaccharides and their techno-functional properties' modification for fresh produce preservation. *Carbohydrate Polymers*, 272, 118371. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118371>

Oliveira, S. M., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2015). Influence of drying processes and pretreatments on nutritional and bioactive characteristics of dried vegetables: a review. *Food Engineering Reviews*, 8(2), 134–163. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9124-0>

Omojasola, P. F., & Benu, O. E. (2016). Fermentative production of gibberellic acid from jatropha curcas seed cake using aspergillus niger and aspergillus terreus. *FUTA Journal of Research in Sciences*, 12(2), 242–251.

Onwude, D. I., Hashim, N., Janius, R., Nawi, N. M., & Abdan, K. (2017). Color change kinetics and total carotenoid content of pumpkin as affected by drying temperature. *Italian Journal of Food Science*, 29(1). <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v398>

Ordóñez-Santos, L. E., & Martínez-Girón, J. (2019). Thermal degradation kinetics of carotenoids, vitamin C and provitamin A in tree tomato juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 201–210. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14263>

Ortiz, C. M., Vicente, A. R., & Mauri, A. N. (2014). Combined use of physical treatments and edible coatings in fresh produce: moving beyond. *Stewart Postharvest Review*, 10(3), 1–6.

Oshoma, C. E., Eguakun-Owie, S. O., & Obuekwe, I. S. (2017). Utilization of Banana Peel as a Substrate for Single Cell Protein and Amylase Production by *Aspergillus niger*. *African Scientist*, 18(3), 143–149.

Outuki, P. M., de Francisco, L. M. B., Hoscheid, J., Bonifácio, K. L., Barbosa, D. S., & Cardoso, M. L. C. (2016). Development of arabic and xanthan gum microparticles loaded with an extract of *Eschweilera nana* Miers leaves with antioxidant capacity. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and*

Engineering Aspects, 449, 103–112.
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.04.006>

Ozdemir, M., & Floros, J. D. (2008). Optimization of edible whey protein films containing preservatives for water vapor permeability, water solubility and sensory characteristics. *Journal of Food Engineering*, 86(2), 215–224.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.028>

Pal, R.K., Roy, S.K., Srivastava, S.S., 1997. Storage performance of Kinnow mandarins in evaporative cool chamber and ambient conditions. *Journal of Food Science and Technology* 34 (3), 200–203.

Parida, A., Das, A. B., & Das, P. (2002). NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins, and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. *Journal of Plant Biology*, 45(1), 28–36. <https://doi.org/10.1007/BF03030429>

Pastor, C., Sánchez-González, L., Marcilla, A., Chiralt, A., Cháfer, M., & González-Martínez, C. (2011). Quality and safety of table grapes coated with hydroxypropylmethylcellulose edible coatings containing propolis extract. *Postharvest Biology and Technology*, 60(1), 64–70.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.11.003>

Patel, A., Temgire, S., & Borah, A. (2021). Agro-industrial waste as source of bioactive compounds and their utilization: A review. *The Pharma Innovation*, 10(5), 192–196. <https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i5c.6197>

Pathare, P. B., & Al-Dairi, M. (2021). Bruise Damage and Quality Changes in Impact-Bruised, Stored Tomatoes. *Horticulturae*, 7(5), 113.
<https://doi.org/10.3390/horticulturae7050113>

Patyshakuliyeva, A., Arentshorst, M., Allijn, I. E., Ram, A. F. J., Vries, R. P. De, & Gelber, I. B. (2016). Improving cellulase production by *Aspergillus niger* using adaptive evolution. *Biotechnology Letters*, 38(6), 969–974.
<https://doi.org/10.1007/s10529-016-2060-0>

Pedro, A. M. K., & Ferreira, M. M. C. (2006). Multivariate accelerated shelf-life testing: a novel approach for determining the shelf-life of foods. *Journal of Chemometrics*, 20(1–2), 76–83. <https://doi.org/10.1002/cem.995>

Pila, N., Gol, N. B., & Ramana Rao, T. V. (2010). Effect of post harvest treatments on physicochemical characteristics and shelf life of tomato

(*lycopersicon esculentum* mill.) fruits during storage. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 9(5), 470–479.

Pilares, Y. E. (2021). Productos deshidratados de tomate saladette (*Solanum Lycopersicum* L) una alternativa de conservación y procesamiento dirigido a la población infantil de la Sierra Norte del Estado de Puebla [Universidad Autónoma de Puebla]. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/12621>

Pinheiro, J., Alegria, C., Abreu, M., Gonçalves, E. M., & Silva, C. L. M. (2013). Kinetics of changes in the physical quality parameters of fresh tomato fruits (*Solanum lycopersicum*, cv. 'Zinac') during storage. *Journal of Food Engineering*, 114(3), 338–345. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.08.024>

Pöhl, T., Schweiggert, R. M., & Carle, R. (2018). Impact of Cultivation Method and Cultivar Selection on Soluble Carbohydrates and Pungent Principles in Onions (*Allium cepa* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(48), 12827–12835. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05018>

Prokopov, T., Slavov, A., Petkova, N., Yanakieva, V., Bozadzhiev, B., & Taneva, D. (2018). Study of onion processing waste powder for potential use in food sector. *Acta Alimentaria*, 47(2), 181–188. <https://doi.org/10.1556/066.2018.47.2.6>

Pucciarini, L., Ianni, F., Petesse, V., Pellati, F., Brighenti, V., Volpi, C., Gargaro, M., Natalini, B., Clementi, C., & Sardella, R. (2019). Onion (*Allium cepa* L.) Skin: A Rich Resource of Biomolecules for the Sustainable Production of Colored Biofunctional Textiles. *Molecules*, 24(3), 634. <https://doi.org/10.3390/molecules24030634>

Ramos-García, M. de L., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L. L., Bosquez-Molina, E., Alia-Tejacal, I., & Estrada-Carrillo, M. (2010). Antimicrobial compounds added in edible coatings for use in horticultural products. *Mexical Journal of Phytopatology*, 28(1), 44–57. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092010000100005&lng=es&tlng=es.

Rattan, S., Parande, A. K., Ramalakshmi, K., & Nagaraju, V. D. (2015). Effect of edible coating on the aromatic attributes of roasted coffee beans. *Journal of food science and technology*, 52(9), 5470–5483. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1707-x>

- Reid, D. S., Kotte, K., Kilmartin, P., & Young, M. (2003). A new method for accelerated shelf-life prediction for frozen foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(10), 1018–1021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1431>
- Remini, H., Mertz, C., Belbahi, A., Achir, N., Dornier, M., & Madani, K. (2015). Degradation kinetic modelling of ascorbic acid and colour intensity in pasteurised blood orange juice during storage. *Food Chemistry*, 173, 665–673. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.069>
- Rhim, J., Reddy, J. P., & Luo, X. (2014). Isolation of cellulose nanocrystals from onion skin and their utilization for the preparation of agar-based bio-nanocomposites films. *Cellulose*, 22(1), 407–420. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0517-7>
- Rivas, C., Márquez, T., Andrea, M., Bustamante, P., Soto, L., Vargas, L., Adela, A., Adela, A., & Vargas, L. (2019). Efecto de recubrimiento comestible adicionado con extracto de cebolla en la inhibición de *Salmonella typhi* en chile jalapeño. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(2), 203–215. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81361553009>
- Rocha, A. M. C. N., & Morais, A. M. M. B. (2003). Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour changes. *Food Control*, 14(1), 13–20. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(02\)00046-4](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(02)00046-4)
- Rodríguez-Luna, D., Ruiz, H. A., González-morales, S., Sandoval-rangel, A., Fuente, M. C. de la, Charles-rodríguez, A. V., & Robledo-olivo, A. (2020). Recovery of melon residues (*Cucumis melo*) to produce lignocellulolytic enzymes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01055-8>
- Roldán-Marín, E., Sánchez-Moreno, C., Lloría, R., de Ancos, B., & Cano, M. P. (2009). Onion high-pressure processing: Flavonol content and antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 42(4), 835–841. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.11.013>
- Rondón, E., Pacheco Delahaye, E., & Ortega, F. (2004). Estimación de la vida útil de un análogo comercial de mayonesa utilizando el factor de aceleración Q_{10} . *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(1), 68-83.
- Rose, P., Whiteman, M., Moore, P. K., & Zhun, Y. Z. (2005). Bioactive S-alk(en)yl cysteine sulfoxide metabolites in the genus *Allium*: the chemistry of

potential therapeutic agents. *Natural product reports*, 22(3), 351–368.
<https://doi.org/10.1039/b417639c>

Rueda Altunar, G. (2019). Caracterización de cápsulas de mucílago de chíá (salvia hispánica L.) para encapsular bacterias ácido lácticas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Saad, A., Ibrahim, A., & El-Biale, N. (2016). Internal quality assessment of tomato fruits using image color analysis. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18(1), 339–352.
<https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/3504>

Saavedra del Real, G., Jana Ayala, C., & Kehr Mellado, E. (2019). Hortalizas para procesamiento agroindustrial. Temuco, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA No 411.
<https://hdl.handle.net/20.500.14001/6818>

Sabir, F. K., & Agar, I. T. (2010). Effects of modified atmosphere packaging on postharvest quality and storage of mature green and pink tomatoes. *Acta Horticulturae*, 876, 201–208. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2010.876.26>

Sagar, N. A., Khar, A., Vikas, Tarafdar, A., & Pareek, S. (2021). Physicochemical and Thermal Characteristics of Onion Skin from Fifteen Indian Cultivars for Possible Food Applications. *Journal of Food Quality*, 2021, 11. <https://doi.org/10.1155/2021/7178618>

Sagar, N. A., Pareek, S., & Gonzalez-Aguilar, G. A. (2020). Quantification of flavonoids, total phenols and antioxidant properties of onion skin: a comparative study of fifteen Indian cultivars. *Journal of Food Science and Technology*, 57(7), 2423–2432. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04277-w>

Sagar, N. A., Pareek, S., Benkeblia, N., & Xiao, J. (2022). Onion (*Allium cepa* L.) bioactives: Chemistry, pharmacotherapeutic functions, and industrial applications. *Food Frontiers*, 3(3), 380–412. <https://doi.org/10.1002/fft2.135>

Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 512–531. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>

Saha, A., Tyagi, S., Gupta, R. K., & Tyagi, Y. K. (2017). Natural gums of plant origin as edible coatings for food industry applications. *Critical Reviews in*

- Biotechnology, 37(8), 959–973.
<https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1286449>
- Saidi, R., Hamdi, M., & Bouallagui, H. (2020). Hyperthermophilic hydrogen production in a simplified reaction medium containing onion wastes as a source of carbon and sulfur. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(14), 17382–17392. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08270-w>
- Salehi, F. (2020). Edible Coating of Fruits and Vegetables Using Natural Gums: A Review. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2), S570–S589. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1746730>
- Salgado, P. R., Ortiz, C. M., Musso, Y. S., Di Giorgio, L., & Mauri, A. N. (2015). Edible films and coatings containing bioactives. *Current Opinion in Food Science*, 5, 86–92. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.09.004>
- Salguero-Villavicencio, L. G. (2016). Evaluación de cuatro híbridos de tomate riñón (*Lycopersicum esculentum*) con dos densidades de plantación. [Tesis de Licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. Cevallos-Ecuador]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27066>
- Salinas-Hernández, R. M., González-Aguilar, G. A., Pirovani, M. E., & Ulín-Montejo, F. (2007). Modelling deterioration of fresh-cut vegetables. *Universidad y Ciencia*, 23(2), 183–196. www.ujat.mx/publicaciones/uciencia.
- Salisu, A., Adamu, A. U., Abdulmumin, Y., & Muhammad, I. U. (2020). Comparative Analysis of Heavy Metals And Proximate Composition of *Capsicum annum* (Pepper) and *Allium cepa* L.(Onion). *South Asian Research Journal of Agriculture and Fisheries*, 2(2), 18–24. <https://doi.org/10.36346/sarjaf.2020.v02i02.001>
- Sami, R., Elhakem, A., Alharbi, M., Benajiba, N., Almatrafi, M., & Helal, M. (2021). Nutritional Values of Onion Bulbs with Some Essential Structural Parameters for Packaging Process. *Applied Sciences*, 11(5), 2317. <https://doi.org/10.3390/app11052317>
- Sanches-Silva, A., Costa, D., Albuquerque, T. G., Buonocore, G. G., Ramos, F., Castilho, M. C., Machado, A. V., & Costa, H. S. (2014). Trends in the use of natural antioxidants in active food packaging: a review. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 31(3), 374–395. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.879215>

- Sánchez-Ortega, I., García-Almendárez, B. E., Santos-López, E. M., Amaro-Reyes, A., Barboza-Corona, J. E., & Regalado, C. (2014). Antimicrobial edible films and coatings for meat and meat products preservation. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2014/248935>
- Santas, J., Carbo, R., Gordon, M. H., & Almajano, M. P. (2008). Comparison of the antioxidant activity of two Spanish onion varieties. *Food Chemistry*, 107(3), 1210–1216. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.056>
- Saqib, Md. N., Liu, F., Chen, M., Ahammed, S., Liu, X., Zhong, F. (2022). Thermo-mechanical response of liquid-core beads as affected by alginate molecular structure. *Food Hydrocolloids*, 131, 107777. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107777>.
- Sharma, K., Mahato, N., Nile, S. H., Lee, E. T., & Lee, Y. R. (2016). Economical and environment-friendly approaches for usage of onion (*Allium cepa* L.) wastes. *Food & Function*, 7(8), 3354–3369. <https://doi.org/10.1039/C6FO00251J>
- Shi, J., & Maguer, M. Le. (2000). Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 1–42. <https://doi.org/10.1080/10408690091189275>
- SIAP, 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sibomana, M. S., Workneh, T. S., & Audain, K. (2016). A review of postharvest handling and losses in the fresh tomato supply chain: a focus on Sub-Saharan Africa. *Food Security*, 8, 389–404. <https://doi.org/10.1007/s12571-016-0562-1>
- Sidhu, J. S., Ali, M., Al-Rashdan, A., & Ahmed, N. (2019). Onion (*Allium cepa* L.) is potentially a good source of important antioxidants. *Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1811–1819. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03625-9>
- Silva, L. de A., Verneque, B. J. F., Mota, A. P. L., & Duarte, C. K. (2021). Chia seed (*Salvia hispanica* L.) consumption and lipid profile: a systematic review and meta- analysis. *Food & Function*. <https://doi.org/10.1039/d1fo01287h>
- Škerget, M., Majhenič, L., Bezjak, M., & Knez, Ž. (2009). Antioxidant, Radical Scavenging and Antimicrobial Activities of Red Onion (*Allium cepa* L) Skin and Edible Part Extracts. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 23(4), 435–444. <https://doi.org/oai:hrcak.srce.hr:45385>

- Slimestad, R., Fossen, T., & Vågen, I. M. (2007). Onions: A Source of Unique Dietary Flavonoids. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(25), 10067–10080. <https://doi.org/10.1021/jf0712503>
- Sonar, C. R., Paccola, C. S., Al-Ghamdi, S., Rasco, B., Tang, J., & Sablani, S. S. (2019). Stability of color, β -carotene, and ascorbic acid in thermally pasteurized carrot puree to the storage temperature and gas barrier properties of selected packaging films. *Journal of Food Process Engineering*, 42(4), e13074. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13074>
- Sonar, C. R., Parhi, A., Liu, F., Patel, J., Rasco, B., Tang, J., & Sablani, S. S. (2020). Investigating thermal and storage stability of vitamins in pasteurized mashed potatoes packed in barrier packaging films. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100486. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100486>
- Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>
- Tabaestani, H. S., Sedaghat, N., Pooya, E. S., & Alipour, A. (2013). Shelf life improvement and postharvest quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit using basil mucilage edible coating and cumin essential oil. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(9), 2346–2353.
- Tadesse, T. N., Ibrahim, A. M., & Abteu, W. G. (2015). Degradation and formation of fruit color in tomato (*solanum lycopersicum* L.) in response to storage temperature. *American Journal of Food Technology*, 10(4), 147–157. <https://doi.org/10.3923/ajft.2015.147.157>
- Takahama, U., & Hirota, S. (2000). Deglucosidation of quercetin glucosides to the aglycone and formation of antifungal agents by peroxidase-dependent oxidation of quercetin on browning of onion scales. *Plant and Cell Physiology*, 41(9), 1021–1029. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcd025>
- Taskeen-Un-Nisa, Wani, A. H., & Mir, R. A. (2010). Antimycotic activity of plant extracts on the spore germination of some pathogenic fungi. *Mycopathology*, 8(2), 65–69. [http://pu.edu.pk/images/journal/impp/PDF-FILES/3_Vol_8\(2\)_2010.pdf](http://pu.edu.pk/images/journal/impp/PDF-FILES/3_Vol_8(2)_2010.pdf)

- Tijskens, L. M. M., & Evelo, R. G. (1994). Modelling colour of tomatoes during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 4(1–2), 85–98. [https://doi.org/10.1016/0925-5214\(94\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0925-5214(94)90010-8)
- Tonyali, B., & Sensoy, I. (2017). The effect of onion skin powder addition on extrudate properties. *Acta Horticulturae*, 1152, 393–398. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1152.53>
- Tope, A. K., Oluyemi, B. M., Soji, F., Saanu, A. B., Anangwureyi, J. T., & Temidire, O. S. (2019). Isolation and Screening of Microbial Isolates from Decomposing Palm Kernel Shaft for Cellulase Production. *Frontiers in Environmental Microbiology*, 5(5), 100–105. <https://doi.org/10.11648/j.fem.20190505.11>
- Torrenegra Alarcón, M., León Méndez, G., & Herrera Barros, A. (2021). Evaluation of an edible starch-based biofilm applied to minimally processed avocado (*Persea americana*). *Revista chilena de nutrición*, 48(2), 187–194. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182021000200187>
- Tosif, M. M., Najda, A., Bains, A., Kaushik, R., Dhull, S. B., Chawla, P., & Walasek-Janusz, M. (2021). A comprehensive review on plant-derived mucilage: Characterization, functional properties, applications, and its utilization for nanocarrier fabrication. *Polymers*, 13(7), 1066. <https://doi.org/10.3390/polym13071066>
- Valencia-Chamorro, S. A., Palou, L., Del Río, M. A., & Pérez-Gago, M. B. (2011). Antimicrobial edible films and coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(9), 872–900. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.485705>
- Valentas, K. J., Rotstein, E., & Singh, R. P. (1997). Handbook of food engineering practice. En D. J. Cleland & K. J. Valentas (Eds.), *Prediction of freezing time and design of food freezers* (Ilustrada, p. 736). CRC Press.
- Villalobos, F. J., Mateos, L., Orgaz, F., & Fereres, E. (2009). *Fitotecnia: Bases y Tecnologías de la Producción Agrícola* (2a edición). Madrid-Barcelona-Mexico. Ingeniería Agropecuaria y Agronomía. Editorial Mundi-Prensa.
- Vojvodić Cebin, A., Šeremet, D., Mandura, A., Martinić, A., & Komes, D. (2020). Onion Solid Waste as a Potential Source of Functional Food Ingredients. *Engineering Power: Bulletin of the Croatian Academy of Engineering*, 15(3), 7–13. <https://hrcak.srce.hr/244899>

- Vojvodić, A., Komes, D., Vovk, I., Belščak-Cvitanović, A., & Bušić, A. (2016). Compositional evaluation of selected agro-industrial wastes as valuable sources for the recovery of complex carbohydrate. *Food Research International*, 89, 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.07.023>
- Vuković, S., Popović-Djordjević, J. B., Kostić, A. Ž., Pantelić, N. D., Srećković, N., Akram, M., Laila, U., & Katanić Stanković, J. S. (2023). *Allium* Species in the Balkan Region — Major Metabolites, Antioxidant and Antimicrobial Properties. *Horticulturae*, 9(3), 408. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030408>
- Wang, D., Wang, Y., Lv, Z., Pan, Z., Wei, Y., Shu, C., Zeng, Q., Chen, Y., & Zhang, W. (2023). Analysis of nutrients and volatile compounds in cherry tomatoes stored at different temperatures. *Foods*, 12(1), 6. <https://doi.org/10.3390/foods12010006>
- Wang, H., Zielinska, M., An, K., Fang, X.-M., Raghavan, G. S. V., Zhang, Y., Orsat, V., Xiao, H.-M., & Xiao, H.-W. (2023). Effects of vacuum-steam pulsed blanching (VSPB) and storage on β -carotene, color, total phenolics, antioxidant capacity and volatile profiles of dried carrots. *Food Science and Technology*, 183, 114894. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114894>
- Wang, W., Sun, C., Mao, L., Ma, P., Liu, F., Yang, J., & Gao, Y. (2016). The biological activities, chemical stability, metabolism and delivery systems of quercetin: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 21–38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.07.004>
- Weng, C., Peng, X., & Han, Y. (2021). Depolymerization and conversion of lignin to value - added bioproducts by microbial and enzymatic catalysis. *Biotechnology for Biofuels*, 14(84), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-01934-w>
- Wianowska, D., Olszowy-Tomczyk, M., & Garbaczewska, S. (2022). A Central Composite Design in increasing the quercetin content in the aqueous onion waste isolates with antifungal and antioxidant properties. *European Food Research and Technology*, 248(2), 497–505. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03895-8>
- Xingú López, A., González Huerta, A., De la Cruz Torrez, E., Sangerman-Jarquín, D. M., Orozco de Rosas, G., & Rubí Arriaga, M. (2017). Chia (*Salvia*

- hispanica L.) current situation and future trends. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1619–1631. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.516>
- Yahia, E. M., Soto-zamora, G., Brecht, J. K., & Gardea, A. (2007). Postharvest hot air treatment effects on the antioxidant system in stored mature-green tomatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 44(2), 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.11.017>
- Yan, H., Cai, F., Wang, L., Chen, C., & Liu, G. (2021). Compositional components and methane production potential of typical vegetable wastes. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15798-y>
- Yang, E., Kim, S., Park, S., Bang, H., Jeong, J. H., So, J., Rhee, I., & Song, K. (2012). Fermentation enhances the in vitro antioxidative effect of onion (*Allium cepa*) via an increase in quercetin content. *Food and Chemical Toxicology*, 50(6), 2042–2048. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.03.065>
- Yeoh, W. K., & Ali, A. (2016). Ultrasound treatment on phenolic metabolism and antioxidant capacity of fresh-cut pineapple during cold storage. *Food Chemistry*, 216, 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.074>
- Zeng, W.-W., & Lai, L.-S. (2016). Characterization of the mucilage extracted from the edible fronds of bird's nest fern (*Asplenium australasicum*) with enzymatic modifications. *Food Hydrocolloids*, 53, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.03.026>
- Zhang, W., Luo, Z., Wang, A., Gu, X., & Lv, Z. (2021). Kinetic models applied to quality change and shelf life prediction of kiwifruits. *LWT-Food Science and Technology*, 138, 110610. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110610>
- Zhang, W., Lv, Z., Shi, B., Xu, Z., & Zhang, L. (2021). Evaluation of quality changes and elasticity index of kiwifruit in shelf life by a nondestructive acoustic vibration method. *Postharvest Biology and Technology*, 173, 111398. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111398>
- Zhang, W., Wang, A., Lv, Z., & Gao, Z. (2020). Nondestructive measurement of kiwifruit firmness, soluble solid content (SSC), titratable acidity (TA), and sensory quality by vibration spectrum. *Food Science and Nutrition*, 8(2), 1058–1066. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1390>
- Zhao, X., Lin, F., Li, H., Li, H., Wu, D., Geng, F., Ma, W., Wang, Y., Miao, B.-H., & Gan, R.-Y. (2021). Recent Advances in Bioactive Compounds, Health

Functions, and Safety Concerns of Onion (*Allium cepa* L.). *Frontiers In Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.669805>

Zhou, C., Hu, X., Chao, C., Li, H., Zhang, S., Yan, X., Yang, F., & Li, Q. (2015). Quantitation of allicin in garlic-based products: Comparisons among spectrophotometry, GC and HPLC. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 9(4), 269–277. <https://doi.org/10.19026/ajfst.9.2007>

Zhou, X., Li, W., Mabon, R., & Broadbelt, L. J. (2018). A mechanistic model of fast pyrolysis of hemicellulose. *Energy & Environmental Science*, 11(5), 1240–1260. <https://doi.org/10.1039/C7EE03208K>

ANEXOS

Anexo 1. Pérdida de peso fisiológica 25 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	827.1855	413.5927	464.51	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	2864.125	318.2361	357.41	0.000000*	1.000000
AB	18	314.9638	17.49799	19.65	0.000000*	1.000000
S	120	106.8464	0.8903869			
Total (Adjusted)	149	4113.121				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.8903869 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
0	15 I	0	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
1	15 HI	1.306986	0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
2	15 GH	2.927045	0, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
3	15 FG	4.515587	0, 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9
4	15 EF	5.621125	0, 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9
5	15 DE	7.375897	0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9
6	15 CD	8.953134	0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9
7	15 BC	10.25456	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9
8	15 AB	12.08393	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9
9	15 A	13.74598	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.8903869 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
T	50 C	3.393828	RC, RC+EF
RC	50 B	7.895961	T, RC+EF
RC+EF	50 A	8.745484	T, RC

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means

Anexo 2. Pérdida de peso fisiológica 35 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	2149.906	1074.953	870.78	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	6525.28	725.0311	587.32	0.000000*	1.000000
AB	18	799.9117	44.43954	36.00	0.000000*	1.000000
S	120	148.1361	1.234467			
Total (Adjusted)	149	9623.233				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=1.234467 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
0	15 I	0	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
1	15 HI	2.485034	0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
2	15 GH	4.561	0, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
3	15 FG	7.150751	0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9
4	15 EF	9.440948	0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9
5	15 DE	11.56526	0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9
6	15 CD	14.08603	0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9
7	15 BC	16.19501	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9
8	15 AB	18.61653	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9
9	15 A	20.53126	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=1.234467 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
T	50 C	6.900318	RC, RC+EF
RC	50 B	8.783609	T, RC+EF
RC+EF	50 A	15.70562	T, RC

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 3. Pérdida de peso fisiológica 45 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	613.8943	306.9472	349.99	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	23547.76	2616.418	2983.29	0.000000*	1.000000
AB	18	219.305	12.18361	13.89	0.000000*	1.000000
S	120	105.2429	0.8770245			
Total (Adjusted)	149	24486.21				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.8770245 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
0	15 J	0	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
1	15 I	4.372623	0, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
2	15 H	8.675299	0, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
3	15 G	12.80268	0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9
4	15 F	17.39704	0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9
5	15 E	21.63152	0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9
6	15 D	26.01983	0, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9
7	15 C	30.4666	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9
8	15 B	34.92206	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9
9	15 A	39.22768	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.8770245 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
T	50 C	17.0742	RC+EF, RC
RC+EF	50 B	19.55082	T, RC
RC	50 A	22.02958	T, RC+EF

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 4. Firmeza 25 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	76.18465	38.09232	93.49	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	73.20181	8.133535	19.96	0.000000*	1.000000
AB	18	39.77913	2.209951	5.42	0.000000*	1.000000
S	120	48.89292	0.407441			
Total (Adjusted)	149	238.0585				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.407441 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
9	15 D	4.033333	4, 3, 5, 2, 1, 0
7	15 CD	4.355333	2, 1, 0
8	15 CD	4.356667	2, 1, 0
6	15 CD	4.604	2, 1, 0
4	15 BCD	4.847333	9, 2, 1, 0
3	15 BCD	4.856	9, 2, 1, 0
5	15 BC	5.035333	9, 1, 0
2	15 AB	5.665333	9, 7, 8, 6, 4, 3
1	15 A	6.027333	9, 7, 8, 6, 4, 3, 5
0	15 A	6.19	9, 7, 8, 6, 4, 3, 5

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.407441 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC+EF	50 C	4.0674	RC, T
RC	50 B	5.1248	RC+EF, T
T	50 A	5.799	RC+EF, RC

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 5. Firmeza 35 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	70.92795	35.46397	40.60	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	148.6275	16.51416	18.91	0.000000*	1.000000
AB	18	25.67737	1.426521	1.63	0.062144	0.914528
S	120	104.8069	0.8733907			
Total (Adjusted)	149	350.0397				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.8733907 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
9	15 D	2.95	3, 2, 1, 0
8	15 D	3.041333	3, 2, 1, 0
6	15 CD	3.286667	2, 1, 0
5	15 CD	3.396	2, 1, 0
7	15 CD	3.398667	2, 1, 0
4	15 BCD	3.850667	0
3	15 BC	4.169333	9, 8, 0
2	15 B	4.542	9, 8, 6, 5, 7, 0
1	15 B	4.59	9, 8, 6, 5, 7, 0
0	15 A	6.443333	9, 8, 6, 5, 7, 4, 3, 2, 1

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.8733907 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC	50 B	3.4702	T
RC+EF	50 B	3.491	T
T	50 A	4.9392	RC, RC+EF

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 6. Firmeza 45 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Dias	9	349.387	38.82078	59.52	0.000000*	1.000000
B: Tratamientos	2	3.428897	1.714449	2.63	0.076346	0.514346
AB	18	24.07962	1.337757	2.05	0.011707*	0.971135
S	120	78.2726	0.6522717			
Total (Adjusted)	149	455.1681				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Dias

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.6522717 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
9	15 D	2.138667	2, 1, 0
8	15 D	2.468667	2, 1, 0
7	15 D	2.498	2, 1, 0
6	15 D	2.547333	2, 1, 0
5	15 D	2.632	2, 1, 0
4	15 D	2.716	2, 1, 0
3	15 D	2.862	2, 1, 0
2	15 C	4.124667	9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 1, 0
1	15 B	5.222667	9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 0
0	15 A	7.156667	9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Tratamientos

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.6522717 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC+EF	50 A	3.2982	
RC	50 A	3.3648	
T	50 A	3.647	

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 7. Solidos Solubles Totales 25 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	8.4108	4.2054	47.10	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	2.071	0.2301111	2.58	0.009503*	0.927809
AB	18	6.1132	0.3396222	3.80	0.000005*	0.999909
S	120	10.715	8.929167E-02			
Total (Adjusted)	149	27.31				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=8.929167E-02 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
7	15 A	4.106667	0
5	15 A	4.133333	
8	15 A	4.14	
9	15 A	4.146667	
4	15 A	4.16	
6	15 A	4.16	
2	15 A	4.273334	
3	15 A	4.353333	
1	15 A	4.366667	
0	15 A	4.46	7

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=8.929167E-02 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC	50 C	3.914	T, RC+EF
T	50 B	4.292	RC, RC+EF
RC+EF	50 A	4.484	RC, T

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 8. Solidos Solubles Totales 35 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	24.00013	12.00007	144.12	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	28.08107	3.120119	37.47	0.000000*	1.000000
AB	18	8.274533	0.4596963	5.52	0.000000*	1.000000
S	120	9.992	8.326667E-02			
Total (Adjusted)	149	70.34773				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=8.326667E-02 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
0	15 E	4.566667	2, 3, 8, 7, 5, 4, 6, 9
1	15 DE	4.673333	2, 3, 8, 7, 5, 4, 6, 9
2	15 CD	5.053333	0, 1, 8, 7, 5, 4, 6, 9
3	15 BC	5.32	0, 1, 9
8	15 BC	5.4	0, 1, 2, 9
7	15 BC	5.426667	0, 1, 2, 9
5	15 B	5.486667	0, 1, 2, 9
4	15 B	5.52	0, 1, 2, 9
6	15 B	5.56	0, 1, 2, 9
9	15 A	6.14	0, 1, 2, 3, 8, 7, 5, 4, 6

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=8.326667E-02 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
T	50 C	4.78	RC+EF, RC
RC+EF	50 B	5.422	T, RC
RC	50 A	5.742	T, RC+EF

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 9. Solidos Solubles Totales 45 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: Dias	9	149.5594	16.61771	21.19	0.000000*	1.000000
B: Tratamientos	2	17.39103	8.695517	11.09	0.000038*	0.990629
AB	18	17.9033	0.9946278	1.27	0.220861	0.805638
S	120	94.102	0.7841833			
Total (Adjusted)	149	278.9557				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Dias

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.7841833 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
0	15 E	3.5	4, 5, 6, 7, 9, 8
1	15 DE	3.86	5, 6, 7, 9, 8
2	15 CDE	4.38	7, 9, 8
3	15 CDE	4.4	7, 9, 8
4	15 CD	4.686666	0, 7, 9, 8
5	15 BC	5.2	0, 1, 9, 8
6	15 BC	5.226666	0, 1, 9, 8
7	15 AB	5.82	0, 1, 2, 3, 4
9	15 A	6.516667	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6
8	15 A	6.586667	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Tratamientos

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.7841833 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
T	50 B	4.724	RC
RC+EF	50 B	4.834	RC
RC	50 A	5.495	T, RC+EF

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 10. pH 25 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	0.7212	0.3606	12.71	0.000010*	0.996249
B: Dia	9	0.547	6.077778E-02	2.14	0.030875*	0.862916
AB	18	0.7428	4.126666E-02	1.45	0.119006	0.870153
S	120	3.404	2.836667E-02			
Total (Adjusted)	149	5.415				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=2.836667E-02 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
0	15 A	4.04	
2	15 A	4.046667	
1	15 A	4.073333	
3	15 A	4.12	
8	15 A	4.12	
7	15 A	4.126667	
9	15 A	4.16	
6	15 A	4.186666	
5	15 A	4.213333	
4	15 A	4.213333	

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=2.836667E-02 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
T	50 B	4.078	RC+EF
RC	50 B	4.084	RC+EF
RC+EF	50 A	4.228	T, RC

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 11. pH 35 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	1.333333E-04	6.666667E-05	0.00	0.995772	0.050620
B: Dia	9	3.533067	0.392563	24.95	0.000000*	1.000000
AB	18	0.5025333	2.791852E-02	1.77	0.036050*	0.939824
S	120	1.888	1.573333E-02			
Total (Adjusted)	149	5.923733				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=1.573333E-02 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
0	15 D	4	4, 5, 6, 7, 8, 9
1	15 CD	4.12	6, 7, 8, 9
3	15 CD	4.126667	6, 7, 8, 9
2	15 CD	4.146667	6, 7, 8, 9
4	15 BC	4.246666	0, 8, 9
5	15 BC	4.253334	0, 8, 9
6	15 AB	4.353333	0, 1, 3, 2
7	15 AB	4.393333	0, 1, 3, 2
8	15 A	4.473333	0, 1, 3, 2, 4, 5
9	15 A	4.473333	0, 1, 3, 2, 4, 5

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=1.573333E-02 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
T	50 A	4.258	
RC+EF	50 A	4.258	
RC	50 A	4.26	

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 12. pH 45 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Dias	9	0.2650667	2.945185E-02	1.01	0.439787	0.479653
B: Tratamientos	2	1.6144	0.8072	27.55	0.000000*	1.000000
AB	18	1.074933	5.971852E-02	2.04	0.012347*	0.970101
S	120	3.516	0.0293			
Total (Adjusted)	149	6.4704				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Dias

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.0293 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
0	15 A	4.4	
3	15 A	4.44	
6	15 A	4.486667	
1	15 A	4.486667	
9	15 A	4.486667	
2	15 A	4.493333	
7	15 A	4.526667	
8	15 A	4.526667	
5	15 A	4.533333	
4	15 A	4.54	

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Tratamientos

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.0293 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC	50 B	4.352	RC+EF, T
RC+EF	50 A	4.524	RC
T	50 A	4.6	RC

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 13. Valor L* 25 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	14.14428	7.072141	97.35	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	46.48788	5.165321	71.10	0.000000*	1.000000
AB	18	46.56465	2.586925	35.61	0.000000*	1.000000
S	120	8.71796	7.264967E-02			
Total (Adjusted)	149	115.9148				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=7.264967E-02 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
2	15 D	39.24667	3, 1, 5, 7, 6, 8, 4, 0, 9
3	15 C	40.20867	2, 6, 8, 4, 0, 9
1	15 BC	40.26266	2, 6, 8, 4, 0, 9
5	15 BC	40.26534	2, 6, 8, 4, 0, 9
7	15 BC	40.33533	2, 6, 8, 4, 0, 9
6	15 ABC	40.65867	2, 3, 1, 5, 7, 0, 9
8	15 ABC	40.91	2, 3, 1, 5, 7, 9
4	15 AB	40.948	2, 3, 1, 5, 7, 9
0	15 A	41.06933	2, 3, 1, 5, 7, 6
9	15 A	41.268	2, 3, 1, 5, 7, 6, 8, 4

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=7.264967E-02 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
T	50 B	40.254	RC+EF
RC	50 B	40.3498	RC+EF
RC+EF	50 A	40.948	T, RC

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 14. Valor L* 35 °C
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	524.1408	262.0704	3992.46	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	51.36901	5.707668	86.95	0.000000*	1.000000
AB	18	238.7728	13.26516	202.09	0.000000*	1.000000
S	120	7.87696	6.564134E-02			
Total (Adjusted)	149	822.1596				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=6.564134E-02 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
1	15 B	41.33	0, 5, 8, 2, 6, 9, 3, 7
4	15 B	41.56267	0, 5, 8, 2, 6, 9, 3, 7
0	15 AB	41.878	1, 4, 2, 6, 9, 3, 7
5	15 AB	41.92467	1, 4, 2, 6, 9, 3, 7
8	15 AB	41.96	1, 4, 2, 6, 9, 3, 7
2	15 AB	42.318	1, 4, 0, 5, 8, 9, 3, 7
6	15 AB	42.432	1, 4, 0, 5, 8, 9, 3, 7
9	15 AB	42.85333	1, 4, 0, 5, 8, 2, 6, 7
3	15 AB	42.87067	1, 4, 0, 5, 8, 2, 6, 7
7	15 A	43.246	1, 4, 0, 5, 8, 2, 6, 9, 3

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=6.564134E-02 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC	50 B	40.6788	RC+EF
T	50 B	41.1678	RC+EF
RC+EF	50 A	44.866	RC, T

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 15. Valor L* 45 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	101.63	50.81501	540.88	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	20.92224	2.324693	24.74	0.000000*	1.000000
AB	18	46.82484	2.60138	27.69	0.000000*	1.000000
S	120	11.27392	9.394933E-02			
Total (Adjusted)	149	180.651				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=9.394933E-02 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
1	15 C	40.86666	7, 4, 3, 6, 5
8	15 BC	41.03067	4, 3, 6, 5
9	15 BC	41.03267	4, 3, 6, 5
0	15 BC	41.07667	4, 3, 6, 5
2	15 BC	41.14867	6, 5
7	15 BC	41.27667	1, 6, 5
4	15 ABC	41.44	1, 8, 9, 0, 5
3	15 ABC	41.50333	1, 8, 9, 0, 5
6	15 AB	41.716	1, 8, 9, 0, 2, 7, 5
5	15 A	42.17333	1, 8, 9, 0, 2, 7, 4, 3, 6

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=9.394933E-02 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
T	50 C	40.2156	RC, RC+EF
RC	50 B	41.5806	T, RC+EF
RC+EF	50 A	42.1832	T, RC

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 16. Valor a* 25 °C
Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	153.284	76.64202	748.36	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	81.79426	9.088251	88.74	0.000000*	1.000000
AB	18	141.7333	7.874074	76.89	0.000000*	1.000000
S	120	12.28952	0.1024127			
Total (Adjusted)	149	389.1011				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.1024127 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
0	15 C	17.20933	5, 2, 7, 1, 8, 6, 3, 9
4	15 BC	17.51133	5, 2, 7, 1, 8, 6, 3, 9
5	15 AB	18.642	0, 4, 1, 8, 6, 3, 9
2	15 A	18.92267	0, 4, 9
7	15 A	18.962	0, 4, 9
1	15 A	19.06333	0, 4, 5, 9
8	15 A	19.124	0, 4, 5, 9
6	15 A	19.17733	0, 4, 5, 9
3	15 A	19.22867	0, 4, 5, 9
9	15 A	19.64933	0, 4, 5, 2, 7, 1, 8, 6, 3

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.1024127 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC+EF	50 B	17.3222	RC, T
RC	50 A	19.3848	RC+EF
T	50 A	19.54	RC+EF

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 17. Valor a* 35 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	1030.68	515.3402	3298.59	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	126.9102	14.10113	90.26	0.000000*	1.000000
AB	18	259.5269	14.41816	92.29	0.000000*	1.000000
S	120	18.74768	0.1562307			
Total (Adjusted)	149	1435.865				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dias

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.1562307 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
8	15 C	11.172	3, 9, 6, 4, 5, 7, 0
2	15 C	11.20333	3, 9, 6, 4, 5, 7, 0
1	15 BC	11.59267	5, 7, 0
3	15 BC	11.67467	8, 2, 5, 7, 0
9	15 BC	11.88467	8, 2, 5, 7, 0
6	15 BC	11.98667	8, 2, 7, 0
4	15 BC	11.992	8, 2, 7, 0
5	15 BC	12.43133	8, 2, 1, 3, 9, 7, 0
7	15 AB	13.11467	8, 2, 1, 3, 9, 6, 4, 5, 0
0	15 A	14.37267	8, 2, 1, 3, 9, 6, 4, 5, 7

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.1562307 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC+EF	50 C	9.9134	RC, T
RC	50 B	10.6918	RC+EF, T
T	50 A	15.8222	RC+EF, RC

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 18. Valor a* 45 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source		Sum of	Mean		Prob	Power
Term	DF	Squares	Square	F-Ratio	Level	(Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	94.63402	47.31701	247.29	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	267.8278	29.75864	155.53	0.000000*	1.000000
AB	18	93.56801	5.198223	27.17	0.000000*	1.000000
S	120	22.96108	0.1913423			
Total (Adjusted)	149	478.9909				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.1913423 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
9	15 D	11.10667	5, 2, 7, 8, 1, 4, 3, 0
6	15 D	11.19267	5, 2, 7, 8, 1, 4, 3, 0
5	15 CD	11.86867	9, 6, 8, 1, 4, 3, 0
2	15 C	12.29933	9, 6, 3, 0
7	15 C	12.35933	9, 6, 3, 0
8	15 BC	12.64467	9, 6, 5, 3, 0
1	15 BC	12.656	9, 6, 5, 3, 0
4	15 BC	12.73867	9, 6, 5, 3, 0
3	15 B	13.70533	9, 6, 5, 2, 7, 8, 1, 4, 0
0	15 A	16.028	9, 6, 5, 2, 7, 8, 1, 4, 3

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.1913423 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC+EF	50 C	11.6236	RC, T
RC	50 B	12.8028	RC+EF, T
T	50 A	13.5534	RC+EF, RC

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 19. Valor b* 25 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	75.37569	37.68784	136.73	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	53.74437	5.971597	21.66	0.000000*	1.000000
AB	18	48.41721	2.689845	9.76	0.000000*	1.000000
S	120	33.07656	0.275638			
Total (Adjusted)	149	210.6138				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.275638 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
4	15 C	14.57	7, 1, 9, 8, 2, 6, 5, 3, 0
7	15 BC	15.26667	4, 5, 3, 0
1	15 BC	15.32467	4, 3, 0
9	15 BC	15.354	4, 3, 0
8	15 BC	15.45733	4, 3, 0
2	15 B	15.53267	4, 0
6	15 B	15.62867	4, 0
5	15 B	15.90267	4, 7, 0
3	15 AB	16.11533	4, 7, 1, 9, 8, 0
0	15 A	16.976	4, 7, 1, 9, 8, 2, 6, 5, 3

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.275638 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC+EF	50 C	14.657	T, RC
T	50 B	15.8288	RC+EF, RC
RC	50 A	16.3526	RC+EF, T

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 20. Valor b* 35 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source Term	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	238.8668	119.4334	329.62	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	268.4228	29.82475	82.31	0.000000*	1.000000
AB	18	124.3077	6.905982	19.06	0.000000*	1.000000
S	120	43.48048	0.3623373			
Total (Adjusted)	149	675.0777				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.3623373 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
8	15 E	12.98333	4, 2, 7, 1, 5, 0
6	15 DE	13.15133	2, 7, 1, 5, 0
9	15 CDE	13.20333	2, 7, 1, 5, 0
3	15 CDE	13.234	2, 7, 1, 5, 0
4	15 BCDE	13.73733	8, 1, 5, 0
2	15 BCD	14.34467	8, 6, 9, 3, 0
7	15 BCD	14.41067	8, 6, 9, 3, 0
1	15 BC	14.446	8, 6, 9, 3, 4, 0
5	15 B	14.87267	8, 6, 9, 3, 4, 0
0	15 A	17.74933	8, 6, 9, 3, 4, 2, 7, 1, 5

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.3623373 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC+EF	50 C	12.7202	RC, T
RC	50 B	14.1132	RC+EF, T
T	50 A	15.8064	RC+EF, RC

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 21. Valor b* 45 °C

Analysis of Variance Report

Analysis of Variance Table

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F-Ratio	Prob Level	Power (Alpha=0.05)
A: Tratamiento	2	60.76239	30.3812	97.67	0.000000*	1.000000
B: Dia	9	27.99111	3.110124	10.00	0.000000*	1.000000
AB	18	54.03988	3.002215	9.65	0.000000*	1.000000
S	120	37.32652	0.3110543			
Total (Adjusted)	149	180.1199				
Total	150					

* Term significant at alpha = 0.05

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term B: Dia

Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.3110543 Critical Value=4.5595

Group	Count	Mean	Different From Groups
9	15 C	13.13467	4, 0, 8, 3, 7
1	15 BC	13.22	4, 0, 8, 3, 7
5	15 ABC	13.548	8, 3, 7
2	15 ABC	13.71667	7
6	15 ABC	13.77467	7
4	15 ABC	13.89067	9, 1
0	15 AB	14.08333	9, 1
8	15 A	14.25333	9, 1, 5
3	15 A	14.34667	9, 1, 5
7	15 A	14.46467	9, 1, 5, 2, 6

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Tukey-Kramer Multiple-Comparison Test

Term A: Tratamiento

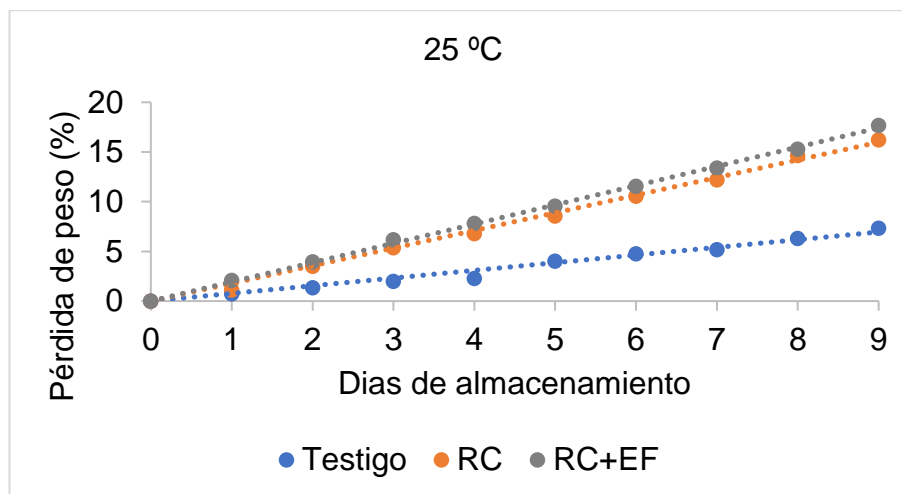
Alpha=0.050 Error Term=S DF=120 MSE=0.3110543 Critical Value=3.3561

Group	Count	Mean	Different From Groups
RC+EF	50 B	12.9502	RC, T
RC	50 A	14.1926	RC+EF
T	50 A	14.387	RC+EF

Notes: This report provides multiple comparison tests for all pairwise differences between the means.

Anexo 22. Procedimiento para calcular la vida útil y el factor Q_{10} de la pérdida de peso de tomates a temperaturas de 25, 35 y 45 °C con 60 % HR.

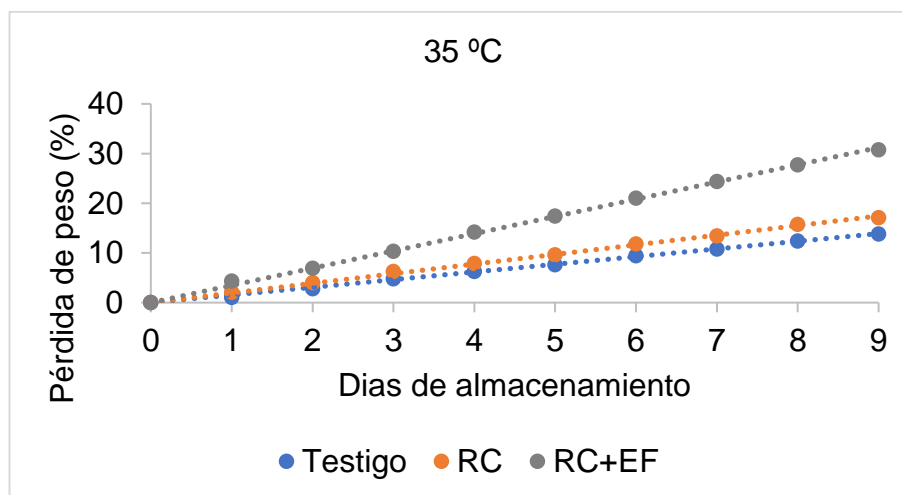
Comportamiento de la pérdida de peso (%) en función a los días de almacenamiento a 25 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la pérdida de peso (%) en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 25°C.

Pérdida de peso (%)	
Tratamientos	m
T	0.807
RC	1.779
RC+EF	1.919

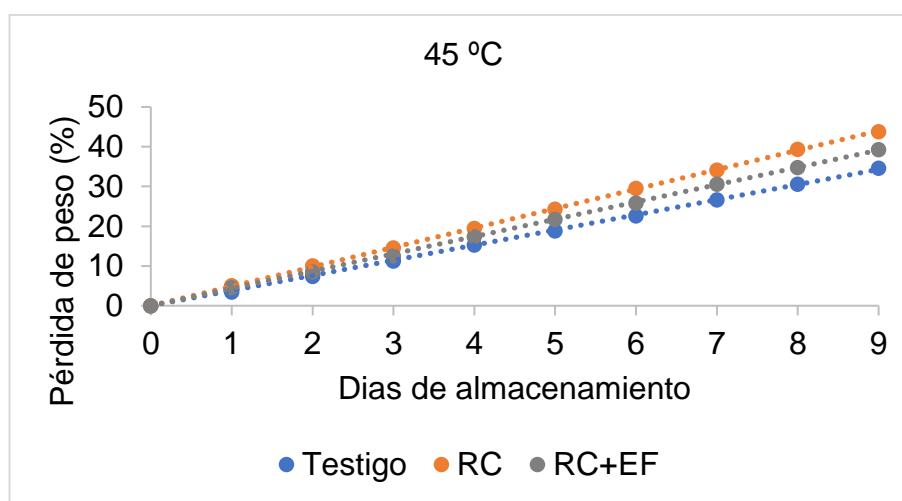
Comportamiento de la pérdida de peso (%) en función a los días de almacenamiento a 35 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la pérdida de peso (%) en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 35°C.

Pérdida de peso (%)	
Tratamientos	m
T	1.535
RC	1.913
RC+EF	3.505

Comportamiento de la pérdida de peso (%) en función a los días de almacenamiento a 45 °C.



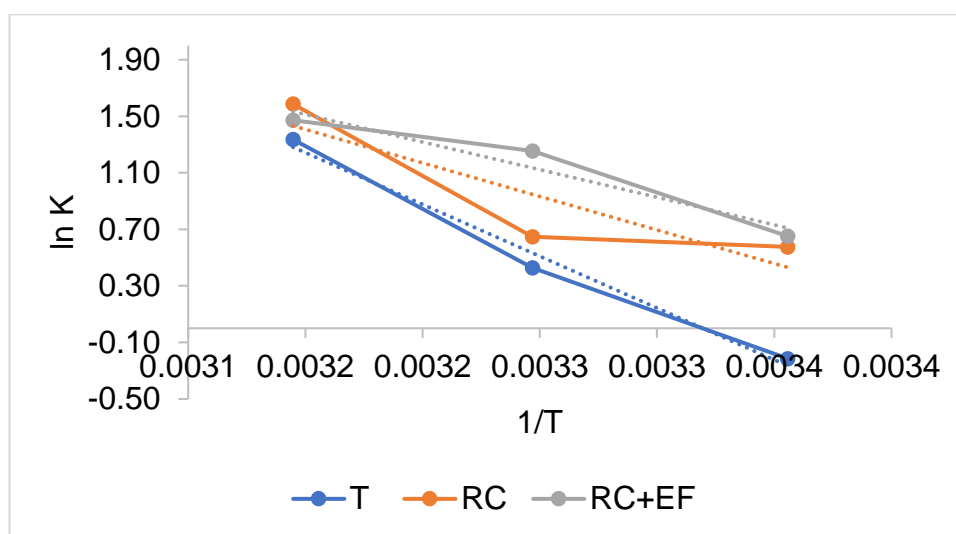
Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la pérdida de peso (%) en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 45°C.

Pérdida de peso (%)	
Tratamientos	m
T	3.805
RC	4.888
RC+EF	4.358

Cálculo del ln de las pendientes de las rectas.

Pérdida de peso (%)				
Temperatura	1/T	ln (K)		
		T	RC	RC+EF
25 °C	0.0034	-0.2	0.58	0.65
35 °C	0.0032	0.43	0.65	1.25
45 °C	0.0031	1.34	1.59	1.47

Gráfica del $\ln(k)$ con respecto del inverso de la temperatura ($1/T$).



Valor de la pendiente y la ordenada al origen, empleadas para el cálculo de la energía de activación (E_a) y factor pre exponencial (K_0).

Tratamientos	m	b	E_a	K_0
T	7331	24.335	60947	3.70E+10
RC	4744	16.349	39439	1.26E+07
RC+EF	3905	13.815	32469	9.99E+05

Valores de la velocidad de deterioro obtenidas mediante la ecuación de Arrhenius para la pérdida de peso (%).

Tratamientos	K 25°C	K 35°C	K 45°C
T	0.767	1.706	3.606
RC	1.538	2.579	4.186
RC+EF	2.034	3.113	4.638

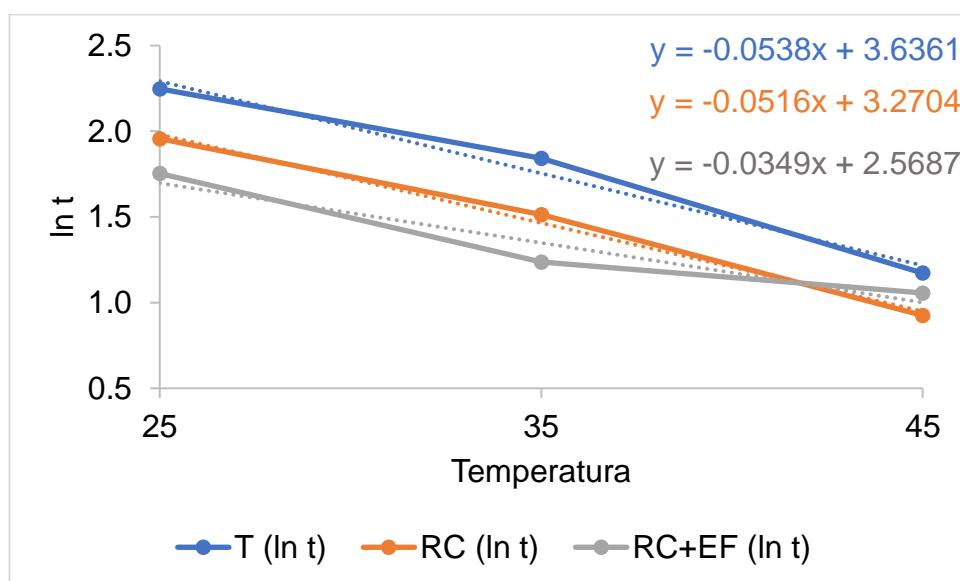
Tiempo de vida útil (t) en la pérdida de peso (%) del tomate.

Temperatura	T (t)	RC (t)	RC+EF (t)
25 °C	9.465	7.077	5.774
35 °C	6.315	4.539	3.445
45 °C	3.230	2.522	2.876

Cálculo del $\ln(t)$ en la pérdida de peso (%).

ln (t)			
Temperatura	T	RC	RC+EF
25 °C	2.248	1.957	1.753
35 °C	1.843	1.513	1.237
45 °C	1.172	0.925	1.056

Gráfica del $\ln(t)$ con respecto a la temperatura.



Valor de las pendientes empleadas para el cálculo del factor Q_{10} .

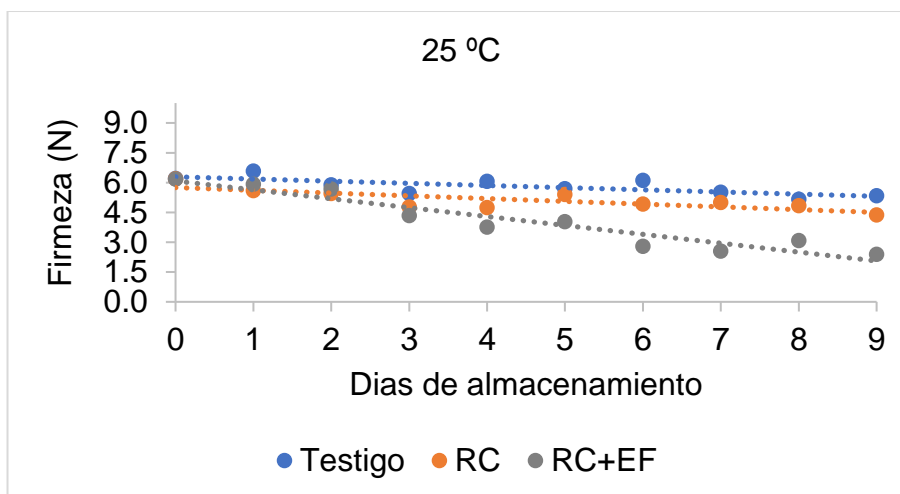
Tratamientos	m	Q_{10}
T	0.054	1.713
RC	0.052	1.675
RC+EF	0.035	1.418

Cálculo del factor Q_{10} empleando la fórmula que involucra los valores de la velocidad de deterioro (K).

Tratamientos	Temperaturas	Q_{10}
T	25-35 °C	2.223
	35-45 °C	2.114
RC	25-35 °C	1.677
	35-45 °C	1.623
RC+EF	25-35 °C	1.530
	35-45 °C	1.490

Anexo 23. Procedimiento para calcular la vida útil y el factor Q_{10} en la firmeza del tomate a temperaturas de 25, 35 y 45 °C con 60 % HR.

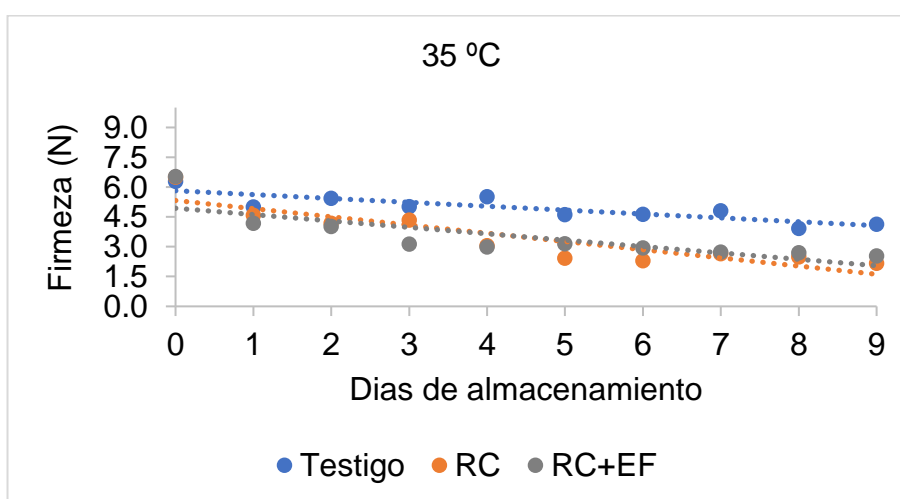
Comportamiento de la firmeza (N) en función a los días de almacenamiento a 25 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la firmeza en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 25°C.

Firmeza (N)	
Tratamientos	m
T	0.109
RC	0.139
RC+EF	0.459

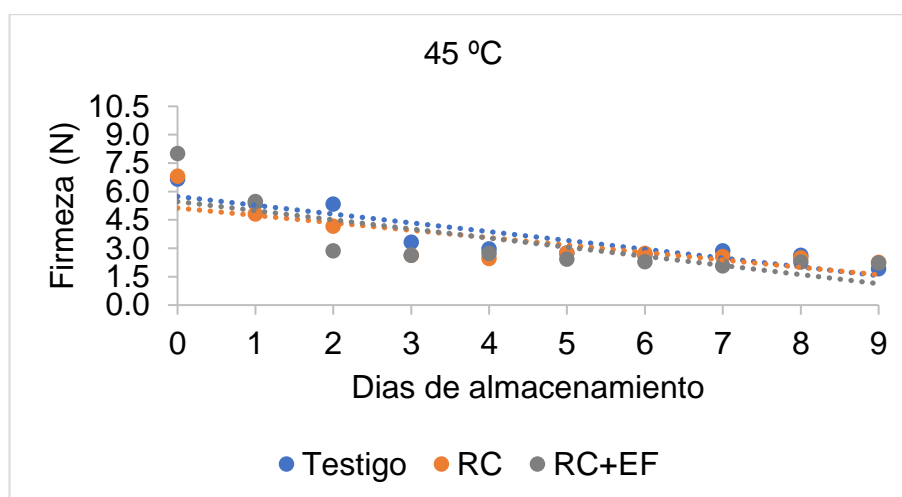
Comportamiento de la firmeza (N) en función a los días de almacenamiento a 35 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la firmeza en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 35°C.

Firmeza (N)	
Tratamientos	m
T	0.152
RC	0.412
RC+EF	0.510

Comportamiento de la firmeza (N) en función a los días de almacenamiento a 45 °C.



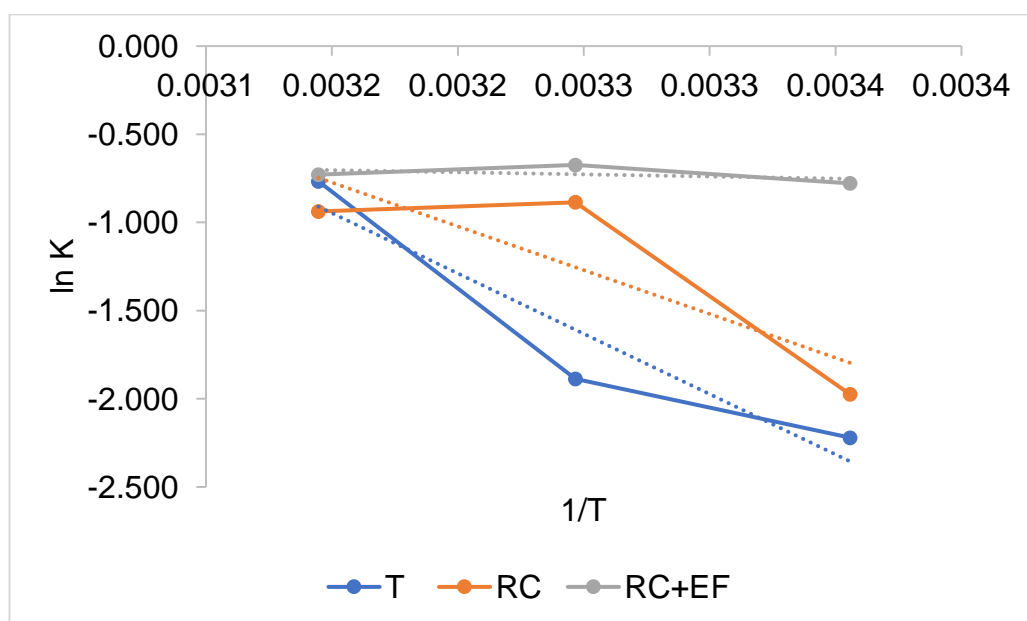
Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de la firmeza en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 45°C.

Firmeza (N)	
Tratamientos	m
T	0.465
RC	0.392
RC+EF	0.482

Cálculo del ln de las pendientes de las rectas.

Firmeza (N)				
Temperatura	1/T	ln (K)		
		T	RC	RC+EF
25 °C	0.0034	-2.220	-1.974	-0.778
35 °C	0.0032	-1.887	-0.886	-0.674
45 °C	0.0031	-0.767	-0.937	-0.730

Grafica del $\ln(k)$ con respecto del inverso de la temperatura ($1/T$).



Valor de la pendiente y la ordenada al origen, empleadas para el cálculo de la energía de activación (E_a) y factor pre exponencial (K_0).

Tratamientos	m	b	E_a	K_0
T	6844	20.6	56904	9.0E+08
RC	4969	14.9	41312	2.9E+06
RC+EF	240	0.1	1994	1.1E+00

Valores de la velocidad de deterioro obtenidas mediante la ecuación de Arrhenius para la firmeza.

Tratamientos	K 25°C	K 35°C	K 45°C
T	0.095	0.200	0.403
RC	0.166	0.285	0.474
RC+EF	0.471	0.484	0.496

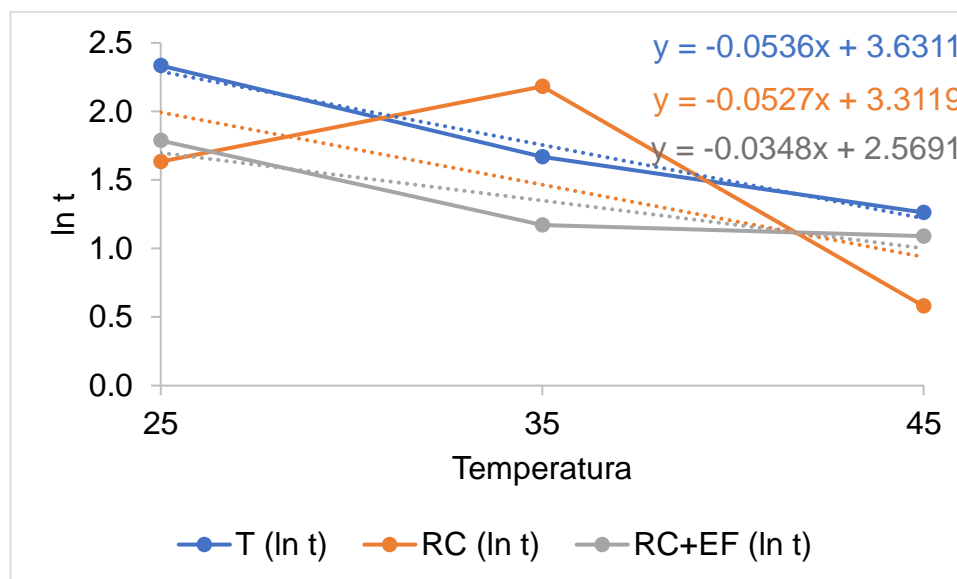
Tiempo de vida de útil (t) en la firmeza del tomate.

Temperatura	T (t)	RC (t)	RC+EF (t)
25 °C	10.324	5.129	5.973
35 °C	5.310	8.868	3.227
45 °C	3.535	1.786	2.976

Cálculo del $\ln(t)$ en la firmeza.

$\ln(t)$			
Temperatura	T	RC	RC+EF
25 °C	2.334	1.635	1.787
35 °C	1.670	2.182	1.171
45 °C	1.263	0.580	1.091

Gráfica del $\ln(t)$ con respecto a la temperatura.



Valor de las pendientes empleadas para el cálculo del factor Q_{10} .

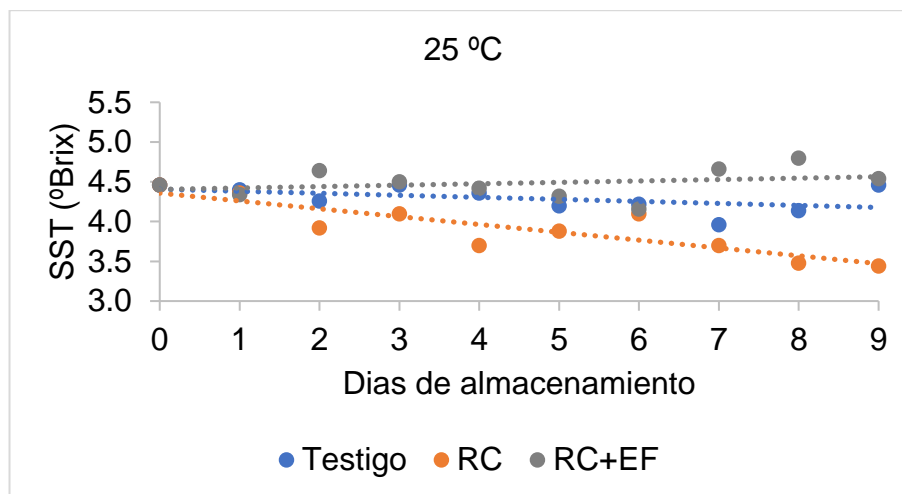
Tratamientos	m	Q_{10}
T	0.054	1.709
RC	0.053	1.694
RC+EF	0.035	1.416

Cálculo del factor Q_{10} empleando la fórmula que involucra los valores de la velocidad de deterioro (K).

Tratamientos	Temperaturas	Q_{10}
T	25-35 °C	2.108
	35-45 °C	2.011
RC	25-35 °C	1.718
	35-45 °C	1.661
RC+EF	25-35 °C	1.026
	35-45 °C	1.025

Anexo 24. Procedimiento para calcular la vida útil y el factor Q_{10} en los sólidos solubles totales (SST) de los tomates a temperaturas de 25, 35 y 45 °C con 60 % HR.

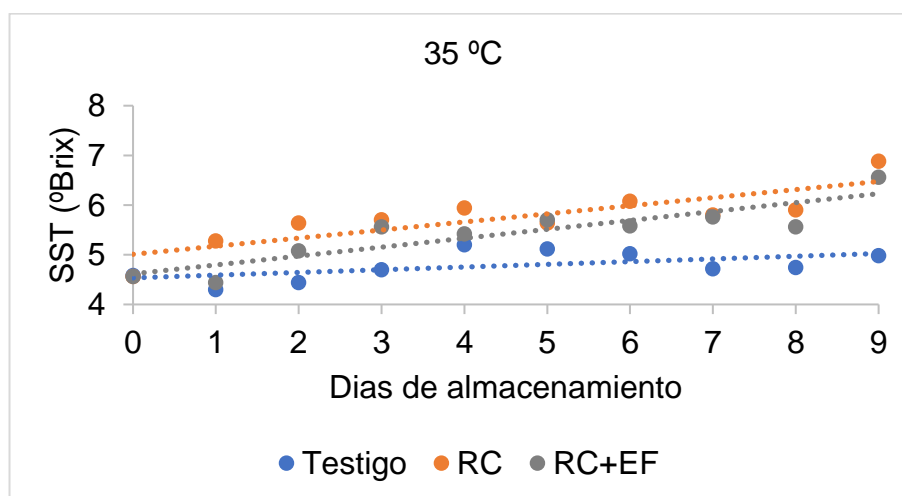
Comportamiento de los SST en función a los días de almacenamiento a 25 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de los SST en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 25°C.

SST (°Brix)	
Tratamientos	m
T	0.026
RC	0.088
RC+EF	0.018

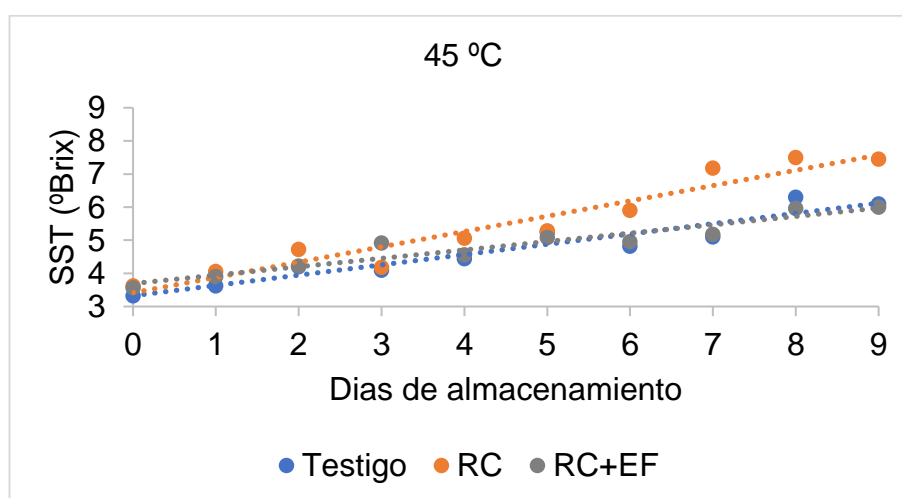
Comportamiento de los SST en función a los días de almacenamiento a 35 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de los SST en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 35°C.

SST (°Brix)	
Tratamientos	m
T	0.054
RC	0.163
RC+EF	0.179

Comportamiento de los SST en función a los días de almacenamiento a 45 °C.



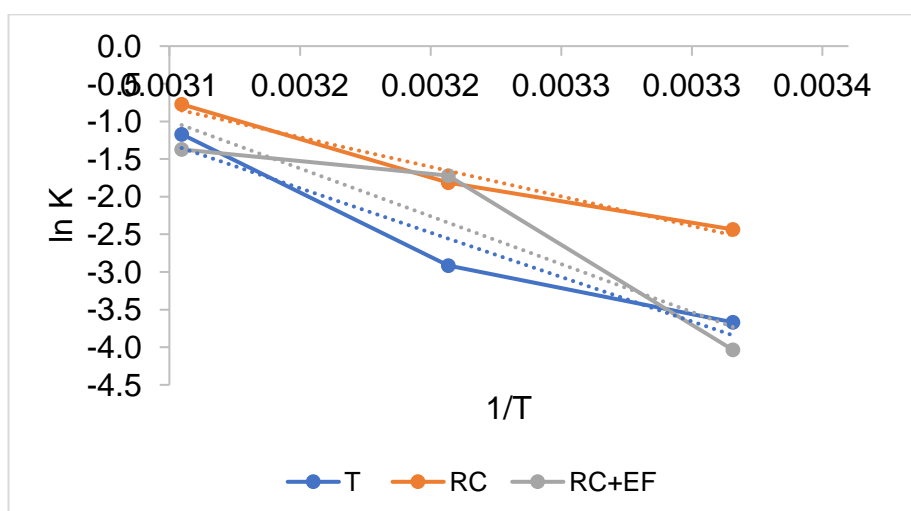
Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento de los SST en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 45°C.

SST (°Brix)	
Tratamientos	m
T	0.311
RC	0.462
RC+EF	0.254

Cálculo del ln de las pendientes de las rectas.

SST (°Brix)				
Temperatura	1/T	ln (K)		
		T	RC	RC+EF
25 °C	0.0034	-3.669	-2.435	-4.034
35 °C	0.0032	-2.913	-1.815	-1.719
45 °C	0.0031	-1.170	-0.772	-1.372

Grafica del $\ln(k)$ con respecto del inverso de la temperatura ($1/T$).



Valor de la pendiente y la ordenada al origen, empleadas para el cálculo de la energía de activación (E_a) y factor pre exponencial (K_0).

Tratamientos	m	b	E_a	K_0
T	11788	35.717	98005	3.2E+15
RC	7854	23.844	65299	2.3E+10
RC+EF	12709	38.916	105663	8.0E+16

Valores de la velocidad de deterioro obtenidas mediante la ecuación de Arrhenius para los SST ($^{\circ}$ Brix).

Tratamientos	K 25°C	K 35°C	K 45°C
T	0.021	0.078	0.259
RC	0.081	0.191	0.426
RC+EF	0.024	0.096	0.350

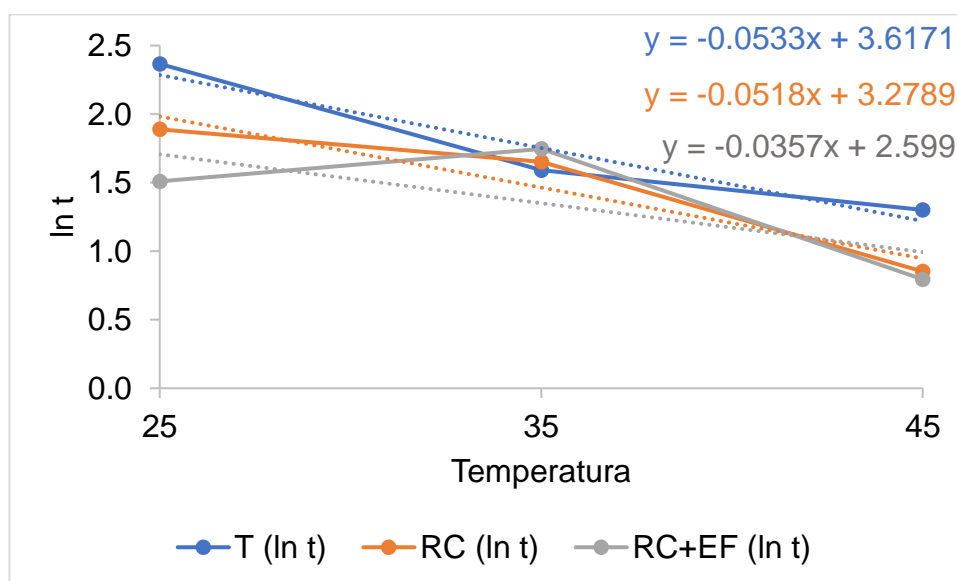
Tiempo de vida útil (t) para los SST ($^{\circ}$ Brix) del tomate.

Temperatura	T (t)	RC (t)	RC+EF (t)
25 °C	10.659	6.613	4.522
35 °C	4.910	5.220	5.735
45 °C	3.674	2.345	2.215

Cálculo del $\ln(t)$ para los SST ($^{\circ}$ Brix).

ln (t)			
Temperatura	T	RC	RC+EF
25 °C	2.366	1.889	1.509
35 °C	1.591	1.653	1.747
45 °C	1.301	0.852	0.795

Gráfica del $\ln(t)$ con respecto de la temperatura.



Valor de las pendientes empleadas para el cálculo del factor Q_{10} .

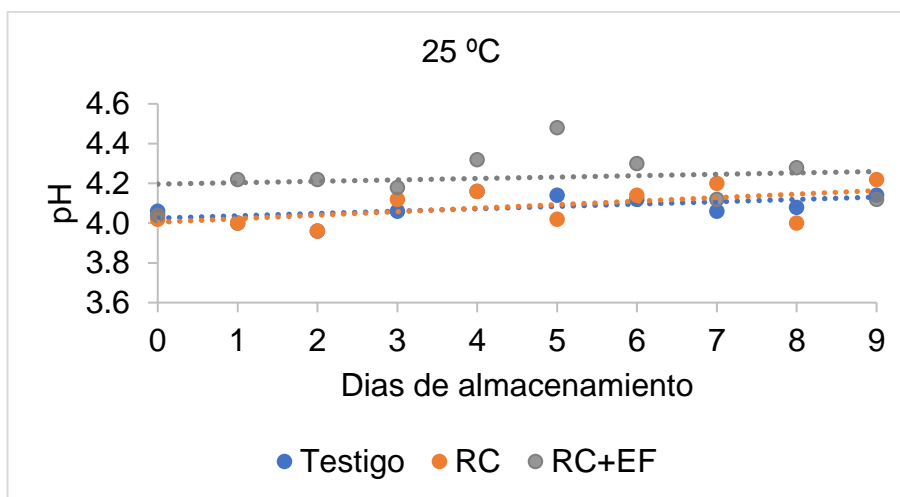
Tratamientos	m	Q_{10}
T	0.053	1.704
RC	0.052	1.679
RC+EF	0.036	1.429

Cálculo del factor Q_{10} empleando la fórmula que involucra los valores de la velocidad de deterioro (K).

Tratamientos	Temperaturas	Q_{10}
T	25-35 °C	3.612
	35-45 °C	3.332
RC	25-35 °C	2.353
	35-45 °C	2.230
RC+EF	25-35 °C	3.993
	35-45 °C	3.660

Anexo 25. Procedimiento para calcular la vida útil y el factor Q_{10} en el pH del tomate a temperaturas de 25, 35 y 45 °C con 60 % HR.

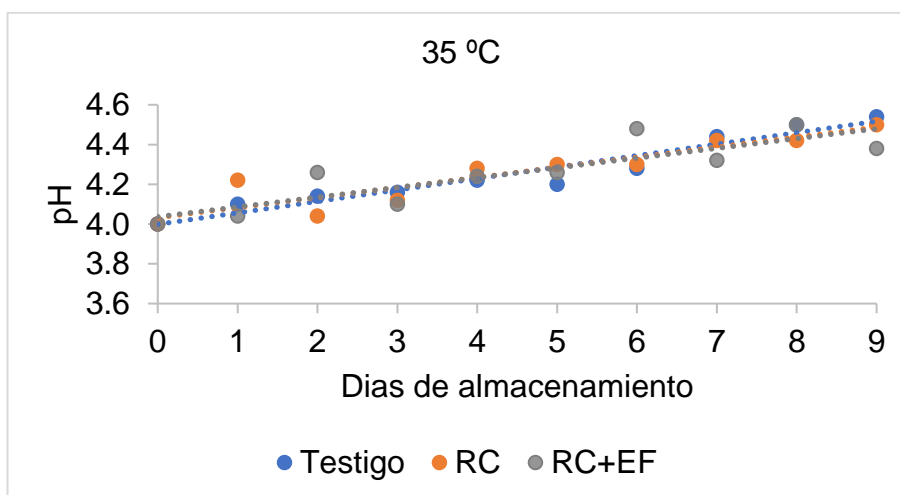
Comportamiento del pH en función a los días de almacenamiento a 25 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del pH en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 25°C.

pH	
Tratamientos	m
T	0.012
RC	0.018
RC+EF	0.007

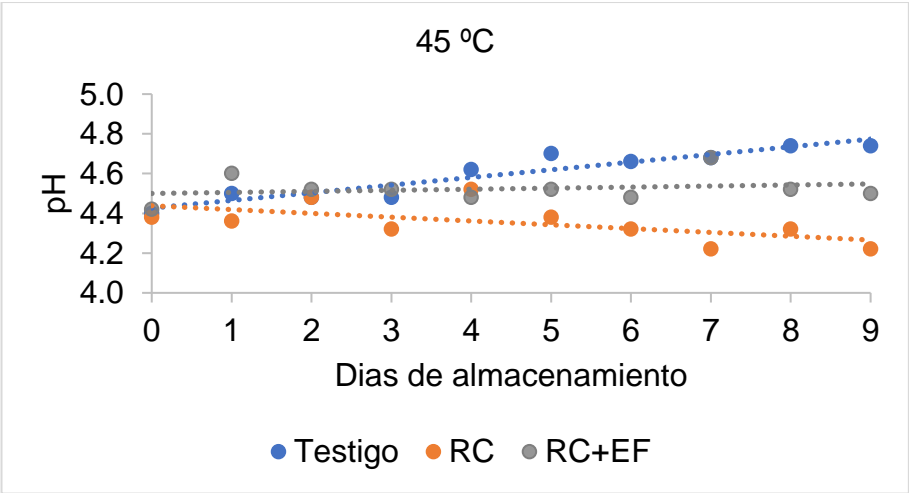
Comportamiento del pH en función a los días de almacenamiento a 35 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del pH en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 35°C.

pH	
Tratamientos	m
T	0.058
RC	0.051
RC+EF	0.049

Comportamiento del pH en función a los días de almacenamiento a 45 °C.



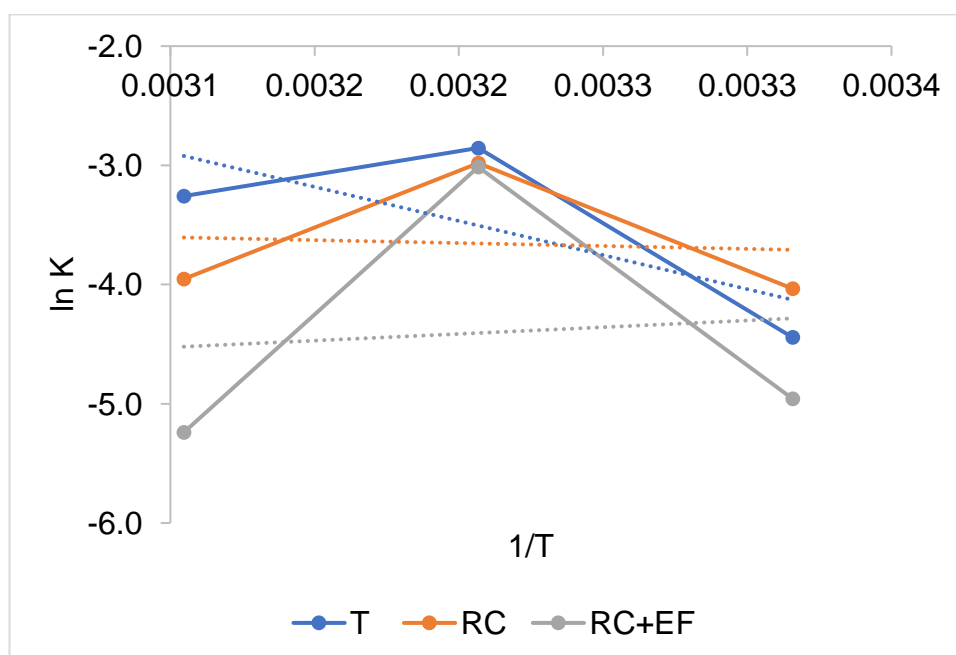
Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del pH en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 45°C.

pH	
Tratamientos	m
T	0.039
RC	0.019
RC+EF	0.005

Cálculo del ln de las pendientes de las rectas.

pH				
Temperatura	1/T	ln (K)		
		T	RC	RC+EF
25 °C	0.0034	-4.443	-4.034	-4.958
35 °C	0.0032	-2.854	-2.982	-3.014
45 °C	0.0031	-3.257	-3.953	-5.240

Grafica del $\ln(k)$ con respecto del inverso de la temperatura ($1/T$).



Valor de la pendiente y la ordenada al origen, empleadas para el cálculo de la energía de activación (E_a) y factor pre exponencial (K_0).

Tratamientos	m	b	E_a	K_0
T	5726	15.076	47605	3.5E+06
RC	490	-2.064	4076	1.3E-01
RC+EF	-1126	-8.059	-9358	3.2E-04

Valores de la velocidad de deterioro obtenidas mediante la ecuación de Arrhenius en el pH

Tratamientos	K 25°C	K 35°C	K 45°C
T	0.016	0.030	0.053
RC	0.024	0.026	0.027
RC+EF	0.014	0.012	0.011

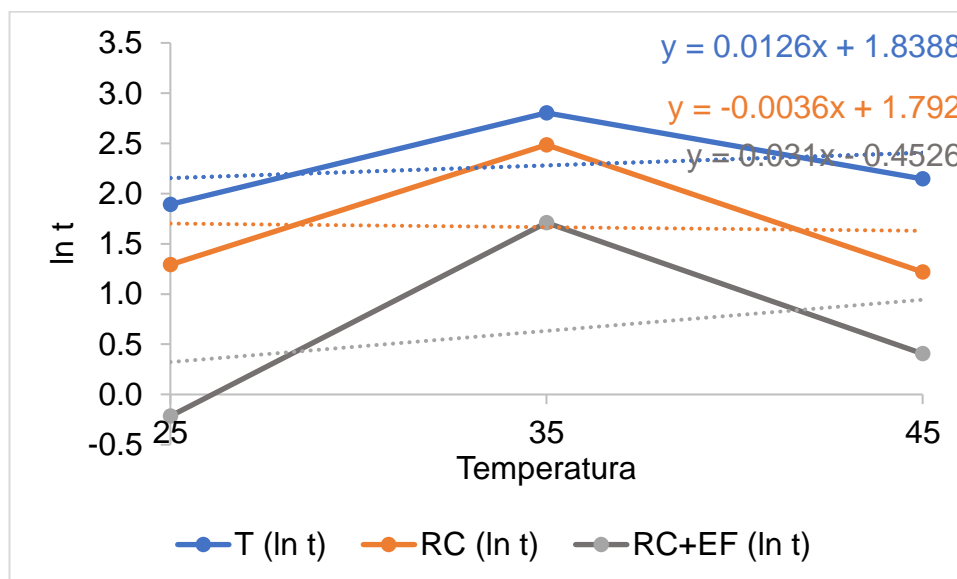
Tiempo de vida útil (t) en el pH del tomate

Temperatura	T (t)	RC (t)	RC+EF (t)
25 °C	6.635	3.639	0.806
35 °C	16.504	12.003	5.531
45 °C	8.539	3.385	1.498

Cálculo del $\ln(t)$ en el pH

Temperatura	$\ln(t)$		
	T	RC	RC+EF
25 °C	1.892	1.292	-0.216
35 °C	2.804	2.485	1.710
45 °C	2.145	1.219	0.404

Gráfica del $\ln(t)$ con respecto de la temperatura.



Valor de las pendientes empleadas para el cálculo del factor Q_{10} .

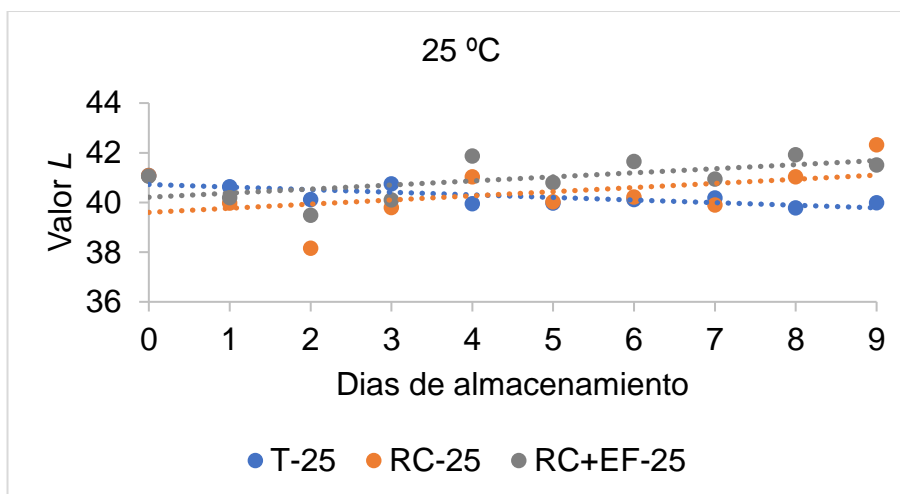
Tratamientos	m	Q_{10}
T	0.013	1.134
RC	0.004	1.037
RC+EF	0.031	1.363

Cálculo del factor Q_{10} empleando la fórmula que involucra los valores de la velocidad de deterioro (K).

Tratamientos	Temperaturas	Q_{10}
T	25-35 °C	1.866
	35-45 °C	1.794
RC	25-35 °C	1.055
	35-45 °C	1.051
RC+EF	25-35 °C	0.885
	35-45 °C	0.891

Anexo 26. Procedimiento para calcular la vida útil y el factor Q_{10} en el valor L^* del tomate a temperaturas de 25, 35 y 45 °C con 60 % HR.

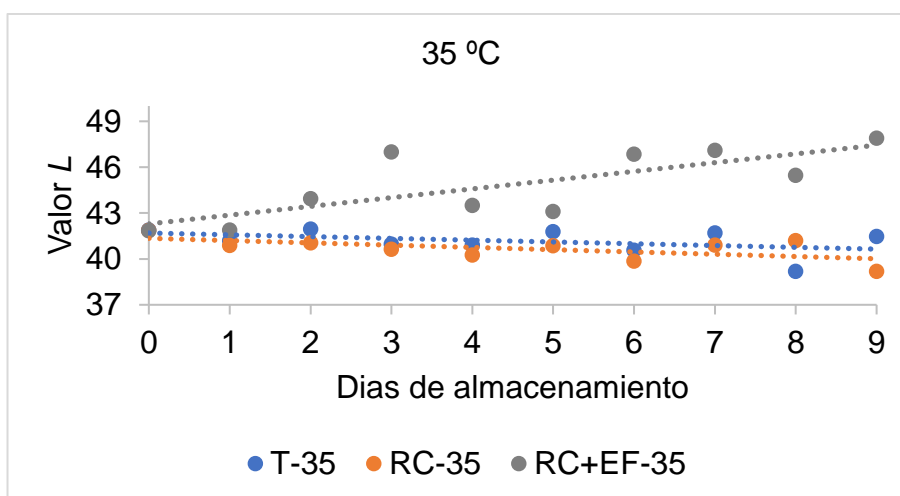
Comportamiento del valor L^* en función a los días de almacenamiento a 25 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del valor L^* en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 25°C.

Valor L^*	
Tratamientos	m
T	0.105
RC	0.167
RC+EF	0.160

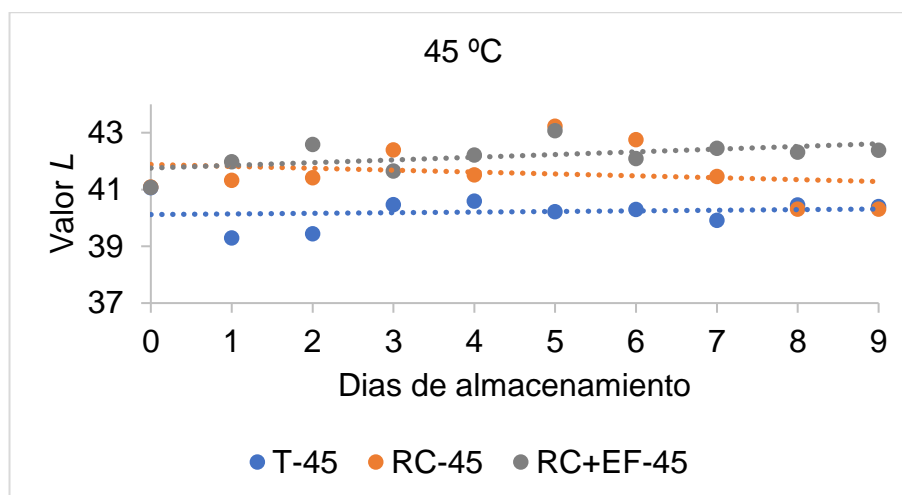
Comportamiento del valor L^* en función a los días de almacenamiento a 35°C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del valor L^* en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 35°C.

Valor L*	
Tratamientos	m
T	0.117
RC	0.149
RC+EF	0.572

Comportamiento del valor L* en función a los días de almacenamiento a 45 °C.



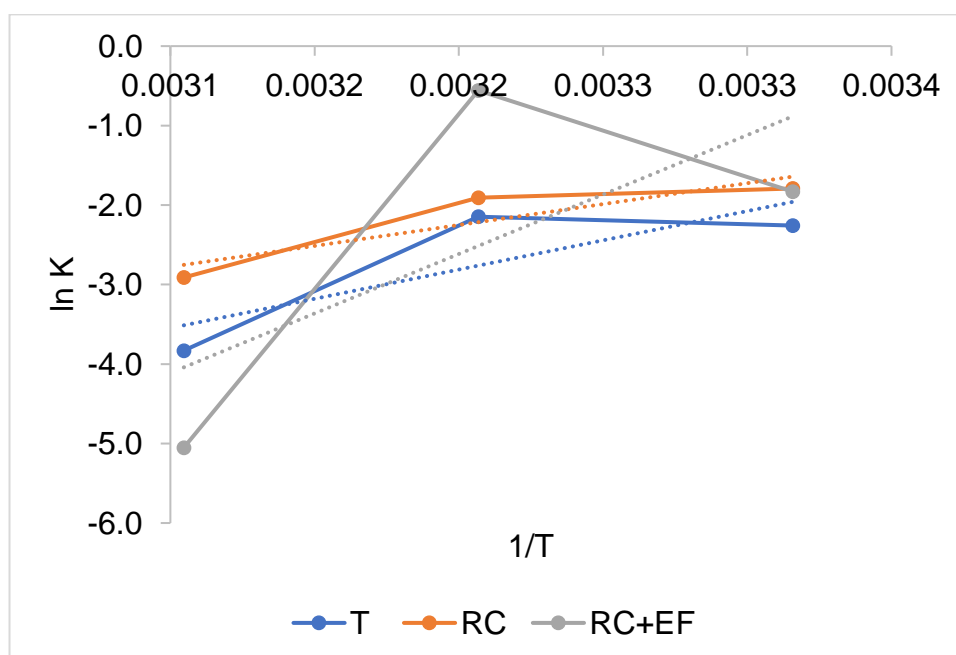
Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del valor L* en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 45°C.

Valor L*	
Tratamientos	m
T	0.022
RC	0.054
RC+EF	0.006

Cálculo del ln de las pendientes de las rectas.

Valor L*				
Temperatura	1/T	ln (K)		
		T	RC	RC+EF
25 °C	0.0034	-2.258	-1.792	-1.831
35 °C	0.0032	-2.146	-1.906	-0.558
45 °C	0.0031	-3.830	-2.911	-5.051

Grafica del $\ln(k)$ con respecto del inverso de la temperatura ($1/T$).



Valor de la pendiente y la ordenada al origen, empleadas para el cálculo de la energía de activación (E_a) y factor pre exponencial (K_0).

Tratamientos	m	b	E_a	K_0
T	-7357.700	-26.650	-61171.918	2.67E-12
RC	-5258.500	-19.288	-43719.169	4.20E-09
RC+EF	-14960.000	-51.085	-124377.440	6.52E-23

Valores de la velocidad de deterioro obtenidas mediante la ecuación de Arrhenius del valor L^*

Tratamientos	K 25°C	K 35°C	K 45°C
T	0.141	0.063	0.030
RC	0.194	0.109	0.064
RC+EF	0.413	0.081	0.018

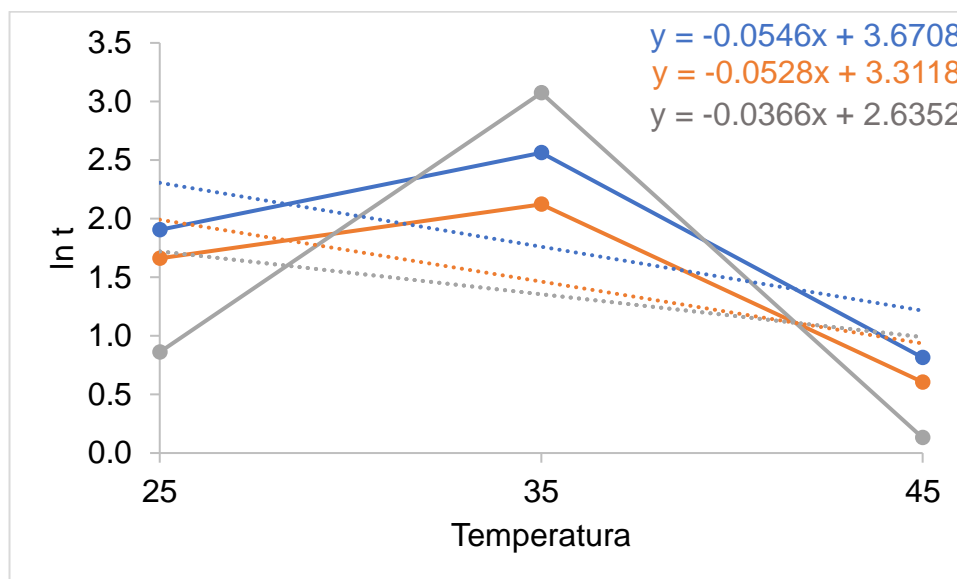
Tiempo de vida de útil (t) en el valor L^* del tomate

Temperatura	T (t)	RC (t)	RC+EF (t)
25 °C	6.724	5.269	2.368
35 °C	12.964	8.349	21.608
45 °C	2.258	1.832	1.139

Cálculo del $\ln(t)$ en el valor L^*

Temperatura	$\ln(t)$		
	T	RC	RC+EF
25 °C	1.906	1.662	0.862
35 °C	2.562	2.122	3.073
45 °C	0.814	0.605	0.130

Gráfica del $\ln(t)$ con respecto de la temperatura.



Valor de las pendientes empleadas para el cálculo del factor Q_{10} .

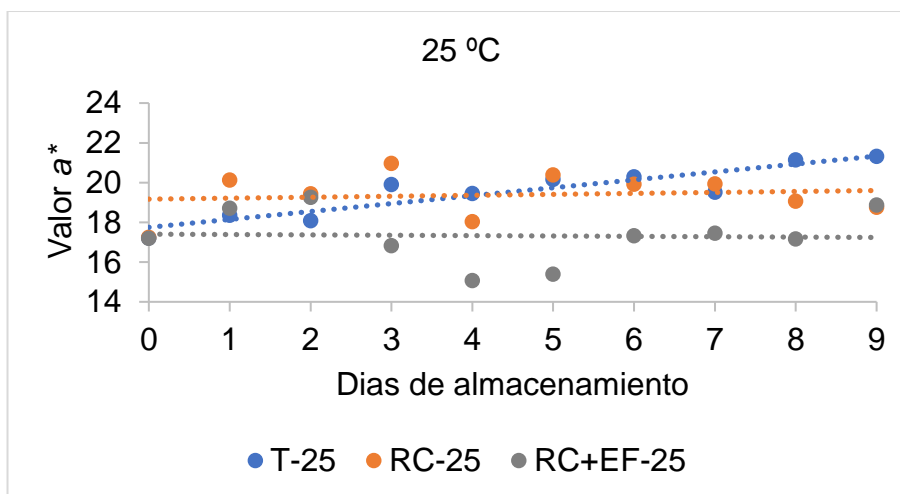
Tratamientos	m	Q_{10}
T	0.055	1.726
RC	0.053	1.696
RC+EF	0.037	1.442

Cálculo del factor Q_{10} empleando la fórmula que involucra los valores de la velocidad de deterioro (K).

Tratamientos	Temperaturas	Q_{10}
T	25-35 °C	0.449
	35-45 °C	0.472
RC	25-35 °C	0.564
	35-45 °C	0.585
RC+EF	25-35 °C	0.196
	35-45 °C	0.217

Anexo 27. Procedimiento para calcular la vida útil y el factor Q_{10} en el valor a^* del tomate a temperaturas de 25, 35 y 45 °C con 60 % HR.

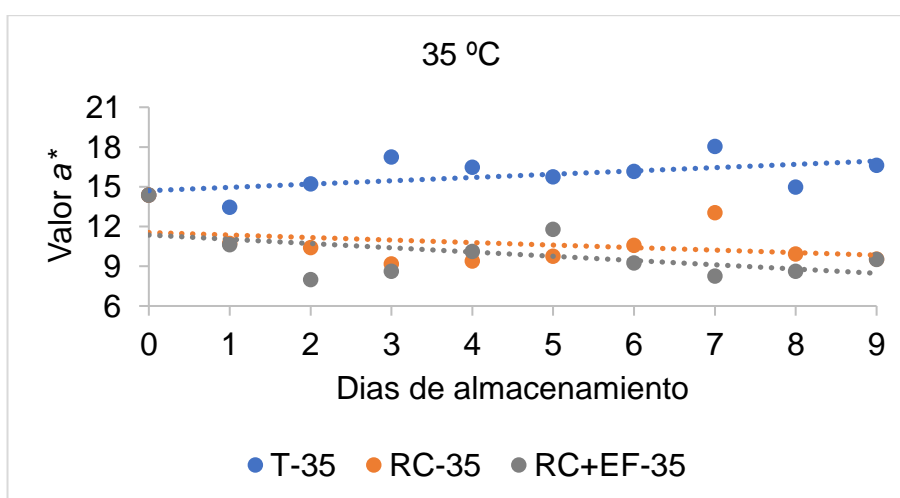
Comportamiento del valor a^* en función a los días de almacenamiento a 25 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del valor a^* en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 25°C.

Valor a^*	
Tratamientos	m
T	0.398
RC	0.048
RC+EF	0.018

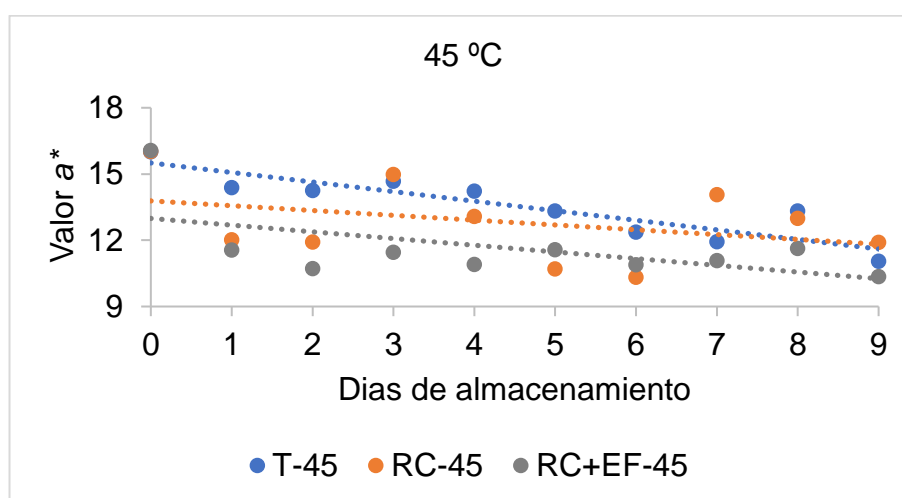
Comportamiento del valor a^* en función a los días de almacenamiento a 35 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del valor a^* en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 35°C.

Valor a^*	
Tratamientos	m
T	0.249
RC	0.190
RC+EF	0.321

Comportamiento del valor a^* en función a los días de almacenamiento a 45 °C.



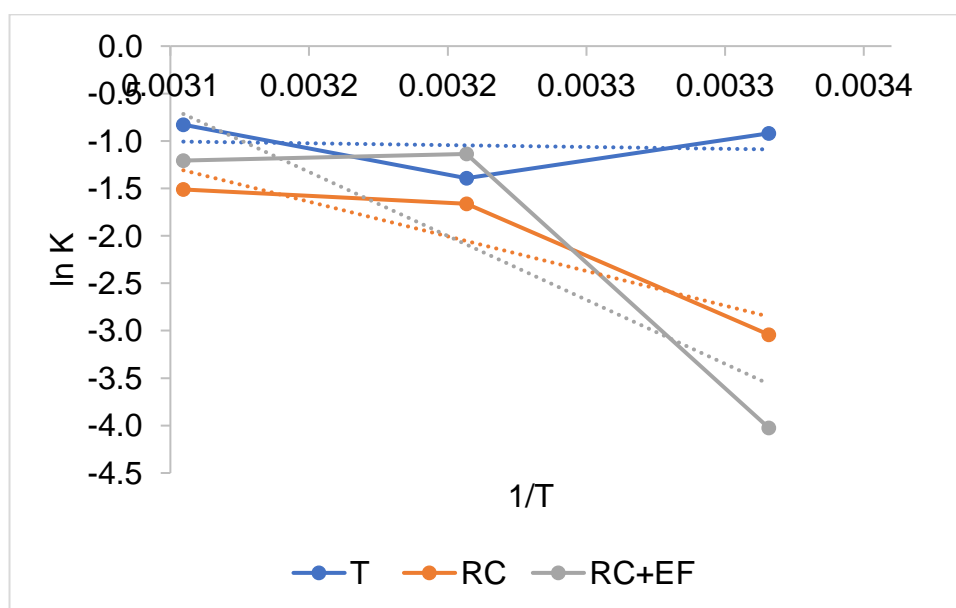
Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del valor a^* en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 45°C.

Valor a^*	
Tratamientos	m
T	0.437
RC	0.221
RC+EF	0.299

Cálculo del \ln de las pendientes de las rectas.

Valor a^*				
Temperatura	1/T	$\ln (K)$		
		T	RC	RC+EF
25 °C	0.0034	-0.921	-3.041	-4.023
35 °C	0.0032	-1.392	-1.662	-1.137
45 °C	0.0031	-0.828	-1.511	-1.208

Grafica del $\ln(k)$ con respecto del inverso de la temperatura ($1/T$).



Valor de la pendiente y la ordenada al origen, empleadas para el cálculo de la energía de activación (E_a) y factor pre exponencial (K_0).

Tratamientos	m	b	E_a	K_0
T	387	0.212	3221.010	1.24E+00
RC	7307	21.668	60747.072	2.57E+09
RC+EF	13485	41.690	112114.290	1.28E+18

Valores de la velocidad de deterioro obtenidas mediante la ecuación de Arrhenius en el valor a^* .

Tratamientos	K 25°C	K 35°C	K 45°C
T	0.337	0.351	0.365
RC	0.058	0.128	0.270
RC+EF	0.028	0.123	0.489

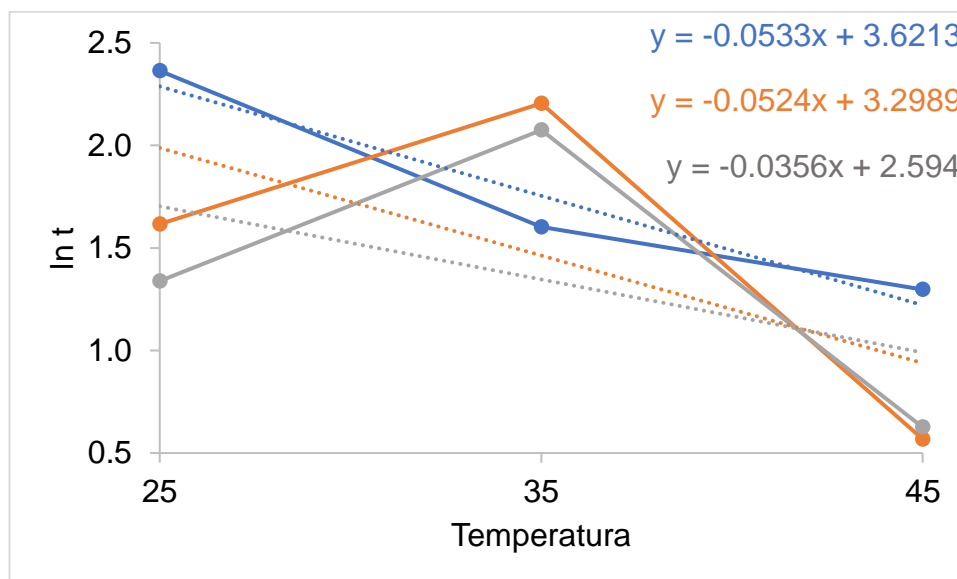
Tiempo de vida útil (t) en el valor a^* del tomate.

Temperatura	T (t)	RC (t)	RC+EF (t)
25 °C	10.634	5.038	3.815
35 °C	4.964	9.070	7.963
45 °C	3.660	1.765	1.870

Cálculo del $\ln(t)$ en el valor a^*

Temperatura	$\ln(t)$		
	T	RC	RC+EF
25 °C	2.364	1.617	1.339
35 °C	1.602	2.205	2.075
45 °C	1.297	0.568	0.626

Gráfica del $\ln(t)$ con respecto de la temperatura.



Valor de las pendientes empleadas para el cálculo del factor Q_{10} .

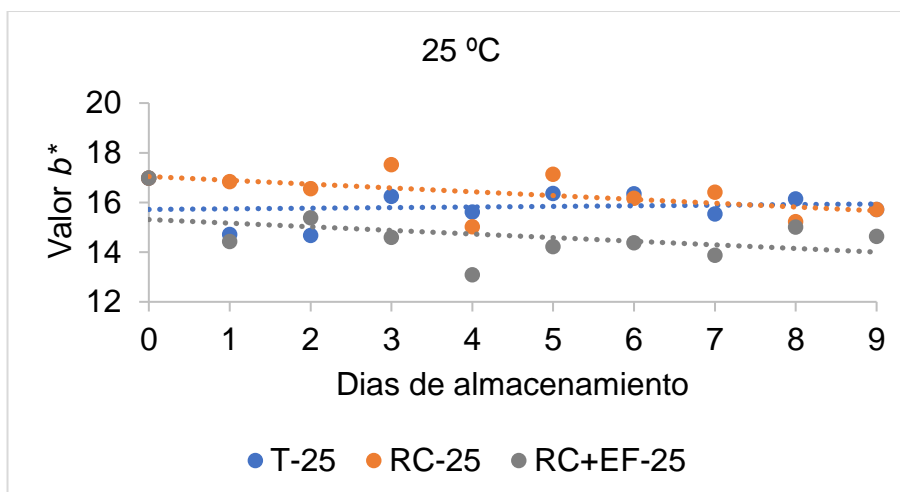
Tratamientos	m	Q_{10}
T	0.053	1.70
RC	0.052	1.69
RC+EF	0.036	1.43

Cálculo del factor Q_{10} empleando la fórmula que involucra los valores de la velocidad de deterioro (K).

Tratamientos	Temperaturas	Q_{10}
T	25-35 °C	1.043
	35-45 °C	1.040
RC	25-35 °C	2.217
	35-45 °C	2.109
RC+EF	25-35 °C	4.346
	35-45 °C	3.962

Anexo 28. Procedimiento para calcular la vida útil y el factor Q_{10} en el valor b^* del tomate a temperaturas de 25, 35 y 45 °C con 60 % HR.

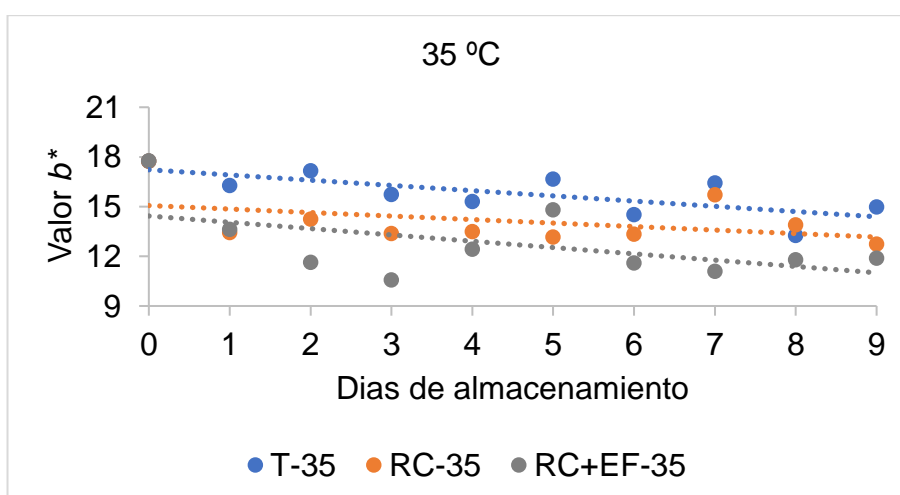
Comportamiento del valor b^* en función a los días de almacenamiento a 25 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del valor b^* en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 25°C.

Valor b^*	
Tratamientos	m
T	0.024
RC	0.110
RC+EF	0.146

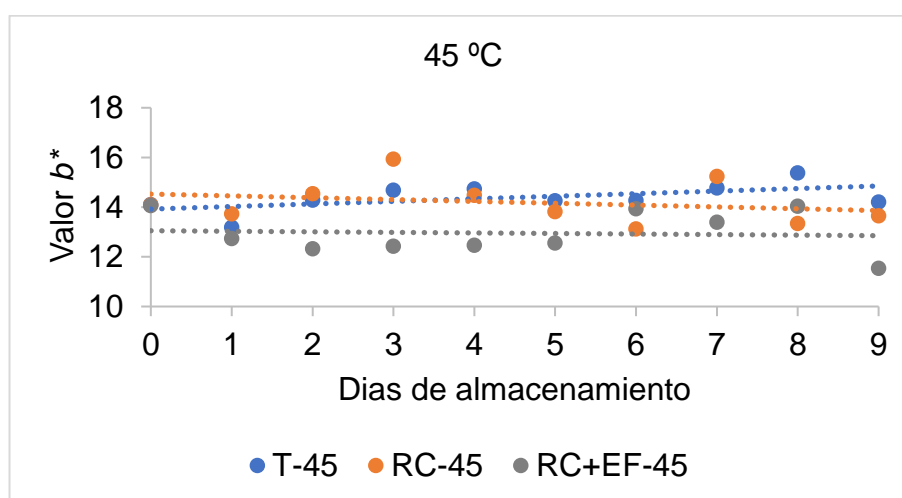
Comportamiento del valor b^* en función a los días de almacenamiento a 35 °C.



Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del valor b^* en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 35°C.

Valor b^*	
Tratamientos	m
T	0.316
RC	0.212
RC+EF	0.381

Comportamiento del valor b^* en función a los días de almacenamiento a 45 °C.



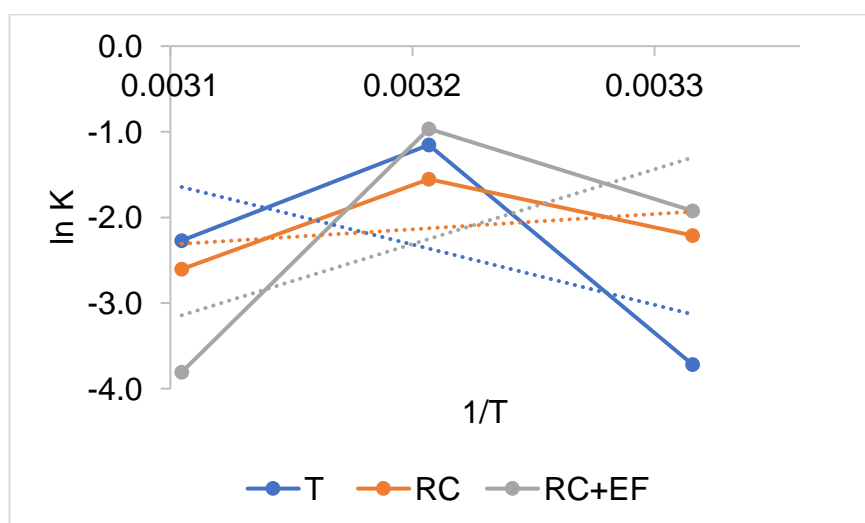
Pendiente de la recta obtenida al graficar el comportamiento del valor b^* en función a los días de almacenamiento para todos los tratamientos a 45°C.

Valor b^*	
Tratamientos	m
T	0.103
RC	0.074
RC+EF	0.022

Cálculo del ln de las pendientes de las rectas.

Valor b^*				
Temperatura	1/T	ln (K)		
		T	RC	RC+EF
25 °C	0.0034	-3.72	-2.21	-1.92
35 °C	0.0032	-1.15	-1.55	-0.96
45 °C	0.0031	-2.27	-2.61	-3.81

Grafica del $\ln(k)$ con respecto del inverso de la temperatura ($1/T$).



Valor de la pendiente y la ordenada al origen, empleadas para el cálculo de la energía de activación (E_a) y factor pre exponencial (K_0).

Tratamientos	m	b	E_a	K_0
T	7043.200	20.503	58557.165	8.0E+08
RC	-1783.600	-7.918	-14828.850	3.6E-04
RC+EF	-8726.400	-30.585	-72551.290	5.2E-14

Valores de la velocidad de deterioro obtenidas mediante la ecuación de Arrhenius en el valor b^*

Tratamientos	K 25°C	K 35°C	K 45°C
T	0.044	0.094	0.193
RC	0.145	0.119	0.099
RC+EF	0.272	0.105	0.043

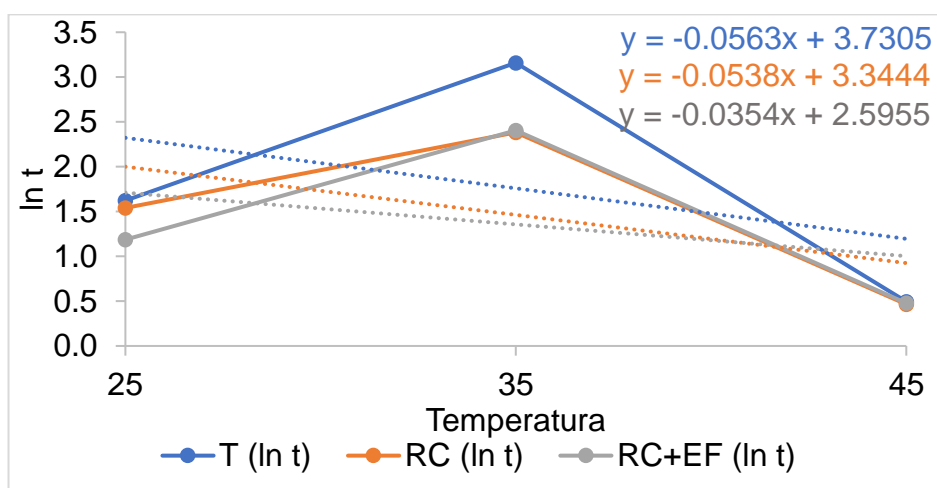
Tiempo de vida útil (t) en el valor b^* del tomate

Temperatura	T (t)	RC (t)	RC+EF (t)
25 °C	5.063	4.665	3.274
35 °C	23.556	10.833	11.080
45 °C	1.641	1.591	1.612

Cálculo del $\ln(t)$ en el valor b^*

ln (t)			
Temperatura	T	RC	RC+EF
25 °C	1.622	1.540	1.186
35 °C	3.159	2.383	2.405
45 °C	0.495	0.465	0.478

Gráfica del $\ln(t)$ con respecto de la temperatura.



Valor de las pendientes empleadas para el cálculo del factor Q_{10} .

Tratamientos	m	Q_{10}
T	0.056	1.76
RC	0.054	1.71
RC+EF	0.035	1.42

Cálculo del factor Q_{10} empleando la fórmula que involucra los valores de la velocidad de deterioro (K).

Tratamientos	Temperaturas	Q_{10}
T	25-35 °C	2.154
	35-45 °C	2.053
RC	25-35 °C	0.823
	35-45 °C	0.834
RC+EF	25-35 °C	0.386
	35-45 °C	0.410