



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TEPIC

**APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS DE QUITOSANO FUNCIONALIZADO
CON ÓXIDOS MIXTOS EN YACA MÍNIMAMENTE PROCESADA: ANÁLISIS
FISICOQUÍMICO, NUTRICIONAL Y CONTENIDO DE COMPUESTOS
BIOACTIVOS**

POR:
L.N. HEIDI RUBÍ RAMÍREZ CONCEPCIÓN

TESIS PROPUESTO A LA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN

COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS DE ALIMENTOS

DIRECTOR:
DRA. EFIGENIA MONTALVO GONZÁLEZ

CO-DIRECTOR:
DR. (A): MARÍA DE LOURDES GARCÍA MAGAÑA

TEPIC, NAYARIT, MÉXICO

AGOSTO, 2022



Instituto Tecnológico de Tepic
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Tepic, Nayarit., **08/agosto/2022**
CONSEJO DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS
No. Oficio CMCA 2022-18.

MC LUZ DEL CARMEN ROMERO ISLAS
JEFE DE LA DIV. DE EST. DE POSG. E INV.
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TEPIC
P R E S E N T E

Por este conducto comunico a usted que el Consejo de la Maestría en Ciencias en Alimentos ha designado como revisores de la tesis del alumno LN. HEIDI RUBÍ RAMÍREZ CONCEPCIÓN con número de control M20401336, cuyo título es "APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS DE QUITOSANO FUNCIONALIZADO CON ÓXIDOS MIXTOS EN YACA MÍNIMAMENTE PROCESADA: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO, NUTRICIONAL Y CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS," a los miembros que a continuación se enlistan, mismos que han evaluado y aprobado el contenido del manuscrito para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Alimentos y que firman de conformidad.

Dr. Ulises López García
(Vocal suplente)

Dr. Porfirio Gutiérrez Martínez
(Vocal)

Dra. María de Lourdes García Magaña
(Secretario)

Dra. Efigenia Montalvo González
(Presidente)

Agradeciendo de antemano la atención prestada a la presente, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Sabiduría tecnológica, Pasión por Nuestro Espíritu"

DR. PORFIRIO GUTIÉRREZ MARTINEZ
PRESIDENTE DEL CONSEJO DE MAESTRÍA EN
CIENCIAS EN ALIMENTOS

c.c.p. Expediente





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Tepic

Tepic, Nayarit, 04/agosto/2022

No. Oficio: 25/0442/2021

Asunto: Constancia Originalidad de Trabajo de Tesis

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente se CERTIFICA que una vez analizado mediante el uso del Software PLAGIARISM v. 1740, el trabajo de tesis "RECUBRIMIENTOS CON QUITOSANO FUNCIONALIZADO CON ÓXIDOS MIXTOS EN YACA MÍNIMAMENTE PROCESADA: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO, NUTRICIONAL Y CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS" para obtener el grado de Maestro (a) en Ciencias en Alimentos de la C. L.N.. HEIDI RUBÍ RAMÍREZ CONCEPCIÓN con numero de control **M20401336** cuenta con un nivel de **originalidad Excelente** según lo definido en el Procedimiento para Verificación de Originalidad, por lo cual se determina que no constituye un plagio.


Es importante mencionar que de los trabajos de tesis se publican artículos en revistas Indizadas y/o arbitradas por lo que las técnicas utilizadas son citadas frecuentemente.

Se extiende la presente para los fines que mejor convengan al interesado.

Sin mas por el momento envío saludos cordiales

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Sabiduría Tecnológica, Pasión de nuestro espíritu®


MANUEL ANGEL URIBE VÁZQUEZ
DIRECTOR



OCTM/est

Cop. Archivo DEPI



Av. Tecnológico #2595 Fracc. Lagos del Country C.P.63175

Tepic, Nayarit. Tel. 01 (311) 2119400 y 2119401 e-mail:

info@ittepic.edu.mx

tecnm.mx | tepic.tecnm.mx





EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Tepic
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Tepic, Nayarit, 09/agosto/2022

No. Oficio: 25-453-2022

Asunto: Autorización de impresión

**L.N. HEIDI RUBÍ RAMÍREZ CONCEPCIÓN
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS
P R E S E N T E**

De acuerdo con los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México y las disposiciones en este Instituto, habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora realizó con respecto a su Trabajo de Tesis titulado "APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS DE QUITOSANO FUNCIONALIZADO CON ÓXIDOS MIXTOS EN YACA MÍNIMAMENTE PROCESADA: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO, NUTRICIONAL Y CONTENIDO DE COMPUESTOS BIOACTIVOS", la División de Estudios de Posgrado e Investigación de este Instituto, concede la Autorización para que proceda a la impresión del mismo.

Sin otro particular, quedo de Usted.



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE TEPIC
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN

ATENTAMENTE

Excellencia en Educación Tecnológica
Sabiduría Tecnológica Pasión de Nuestro Espíritu

**M.C. LUZ DEL CARMEN ROMERO ISLAS
JEFE DE DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

ccp. Coordinación de la Maestría en Ciencias en Alimentos
Archivo



Av. Tecnológico #2595 Fracc. Lagos del Country C.P.63175 Tepic, Nayarit. Tel. 01 (311) 2119400
y 2119401 e-mail: info@ittpic.edu.mx tecnm.mx | tepic.tecnm.mx



2022 Ricardo
Flores
Magón
PRELADO DE LA REVOLUCIÓN MEXICANA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TEPIC
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
POSGRADO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

ASUNTO: CARTA DE SESIÓN DE DERECHOS

En la ciudad de Tepic, Nayarit., el mes de **AGOSTO de 2022**, el que suscribe alumno **HEIDI RUBÍ RAMÍREZ CONCEPCIÓN** del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS** con número de control **M20401336**, manifiesta que todos los resultados derivados de sus estudios de posgrado y realizados bajo la dirección de la **DRA. EFIGENIA MONTALVO GONZÁLEZ** pertenece al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tepic, por lo que cedo los derechos de los mismos a este instituto con fines académicos y de investigación. Así mismo manifiesto que es de mi conocimiento que si de estos resultados se originan patentes o publicaciones, participaré como coautor y de los beneficios que se deriven.



HEIDI RUBÍ REMÍREZ CONCEPCIÓN

DEDICATORIA

Dedico esta tesis principalmente a mi mamá Reynalda Concepción Hernández, por haberme apoyado en cada uno de mis pasos y las decisiones que he tomado desde pequeña, por motivarme a seguir mis sueños, y sobre todo por enseñarme que, por más difícil puedas estar pasando una situación siempre existe una solución, eres una mujer maravillosa madre.

A mi papá Delfino Concepción Pérez, un hombre a quién respeto y admiro. Agradezco tanto a la vida que tú seas quién tomó el rol de padre cuando mi papá biológico falleció. Muchas gracias por tus enseñanzas.

A la memoria de mi abuela-mamá Cecilia Hernández Bautista, sin ti yo no estaría aquí, por creer en mí cuando nadie lo hizo, por siempre defenderme y luchar conmigo en que yo quería estudiar. Gracias por todos los bellos momentos que pasamos juntas, toda la alegría que le diste a mi infancia y adolescencia. Mamí, nuestra plática se hizo realidad, estudié la maestría.

Igual, a la memoria de mi amigo Jonathan de Jesús Pérez Tejas, mi adorado Jony por ti conocí esta maestría, estoy inmensamente agradecida y bendecida por los 15 años de amistad tan lleno de recuerdos, por apoyarme y estar conmigo durante el proceso de admisión e inicio de la maestría, nunca olvidaré que siempre me decías “persevera Heidi”. Un enorme abrazo hasta el cielo.

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero agradecerme y sentirme orgullosa. Por seguir adelante, ser valiente durante esas veces que quise salir corriendo y tomé valor para continuar, por seguir intentando sin rendirme a pesar de las circunstancias y concluir esta tesis. Aprendí que, la única competencia es uno mismo, te sorprenderás de lo que somos capaz si borramos los límites del pensamiento.

A mis padres, Reynalda y Noé, por brindarme la vida, su cariño incondicional, y motivarme para alcanzar mis anhelos. A mis hermanos mayores, Sugey y José, por brindarme su apoyo, consejos y ser mis cómplices en esta corta vida que llevamos.

A la Dra. Efigenia, por haberme dado la oportunidad de ser mi guía en la culminación de esta tesis, por su paciencia y enseñanzas. Igual, quiero agradecerle por su apoyo de manera personal a todos sus consejos, ya que siempre buscó mi bienestar. Gracias por ser parte de mi familia académica.

A mi comité tutorial, por su tiempo dedicado en mejorar esta tesis durante mi proceso de formación. Asimismo, agradecer a los docentes del LIIA que fueron parte de mi formación académica.

Al Dr. Miguel, a quién admiro, estoy agradecida por brindarme su apoyo en todo momento, pero principalmente por la paciencia que me tuvo cuando inicié a conocer el material y equipo de laboratorio.

A la Maestra Yolanda, por ser más que una compañera del posgrado, por acompañarme y nunca dejarme sola durante los análisis del laboratorio en las madrugadas. Mi cariño y respeto a ti mi estimada amiga, llevo en el corazón y mente todos los consejos que me brindaste. No cabe duda que, si existen los ángeles, tu eres uno de ellos.

A mis hermanos de laboratorio Gaby, Alma, Brandon y Daniel, por brindarme de su sabiduría y conocimiento; por hacer ameno mi estancia, voy a extrañar todas esas pláticas existenciales y cósmicas en el laboratorio. La maestría me quitaba las ganas de vivir, pero ustedes me dieron las ganas de vivirla. Los llevo en el corazón.

A los amigos que conocí en el LIIA y los que realizaron sus estancias en el Laboratorio de Bromatología y Nutrición, cada uno de ellos me dejó una enseñanza durante estos dos años.

Finalmente, pero no menos importante, al resto de mi familia y amigos que conocía antes del posgrado. Muchas gracias por sus ánimos, buenos deseos y sobre todo por escucharme y apoyarme en mis decisiones..

RECONOMIENTO

A mi directora de tesis, la Dra. Efigenia Montalvo-González por proporcionarme los medios necesarios para ejecutar este proyecto, además por ayudarme a alcanzar este escalón más en mi vida profesional.

A mi comité tutorial, por las sugerencias en las correcciones y mejoramiento de la tesis:

Dra. María de Lourdes García Magaña, Dr. Porfirio Gutiérrez Martínez y el Dr. Ulises Miguel López García.

Al Tecnológico Nacional De México por el financiamiento otorgado al proyecto: Efecto de recubrimientos de quitosano funcionalizados con nanomateriales (TiO_2 y $\text{TiO}_2\text{-ZnO-MgO}$) en parámetros de calidad nutricional y potencial funcional de yaca mínimamente procesada.

CLAVE: 13795.22-P

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado durante el periodo de septiembre de 2020 a julio de 2022 para la realización de mis estudios de maestría en el Instituto Tecnológico de Tepic

RESUMEN

En México, la principal forma de consumo de la yaca es como fruto fresco. No obstante, existen pérdidas postcosecha. Una alternativa de aprovechamiento de frutos de yaca es el procesamiento mínimo, y para prolongar su vida de anaquel, la aplicación de recubrimientos funcionalizados con almacenamiento en refrigeración. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de un recubrimiento funcionalizado con óxidos mixtos (TiO₂, ZnO, MgO) en los parámetros fisicoquímicos, nutricionales y de compuestos bioactivos del fruto de yaca mínimamente procesada. Los frutos de yaca se recolectaron del municipio de San Blas, Nayarit. Se desinfectaron con agua clorada (50 mg/L) y H₂O₂ frío (2%). Los bulbos enteros con semilla, se separaron del eje central del fruto. Fueron aleatorizados y sumergidos en soluciones frías (4 °C) de ácido cítrico al 1% (p/v) y cloruro de calcio al 0.1% (p/v) por inmersión durante 1 minuto. Se obtuvieron cuatro lotes de bulbos: sin recubrimiento (control), con recubrimiento de quitosano (QS), recubiertos con quitosano-TiO₂ (QS-TiO₂) y recubiertos con quitosano+TiO₂-ZnO-MgO (QS-TZM). La aplicación del recubrimiento se realizó por inmersión (1 min), después se colocaron en recipientes de polipropileno y se almacenaron en refrigeración a 4 °C. Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos, composición nutricional, compuestos bioactivos y la capacidad antioxidante (CAOX). Además, se realizó una prueba de toxicidad mediante el modelo de *Artemia salina* y un análisis sensorial. Se usó un diseño factorial 4X2 completamente al azar. Los datos se analizaron con análisis de varianza (p<0.05) y prueba de medias Fisher LSD ($\alpha=0.05$), se usó el programa Statistica v.12 (Statsoft, Tulsa, Oklahoma, USA). El recubrimiento de QS-TZM, retrasó por más tiempo (15 días) de manera significativa (p<0.05) los cambios de los parámetros fisicoquímicos comparado con el control (5 días), esto pudo deberse a que su estructura química es más estable y esto le permite no degradarse durante el almacenamiento. La firmeza en los bulbos con QS-TZM mantuvo la pérdida en un 72%, este recubrimiento. La composición nutricional muestra que, al finalizar el almacenamiento, el contenido de humedad es menor en los bulbos con QS-TZM (0.91%). En este mismo tratamiento se observó que en el contenido de proteínas no hay un efecto significativo (p>0.05), pero en el contenido de carbohidratos, lípidos y cenizas hubo una tendencia de aumento. El contenido de FD disminuyó al finalizar el almacenamiento este comportamiento coincide con la firmeza. En los bulbos con QS-TZM se observó un incremento en las vitaminas A y E, y conservó la vitamina C con una menor pérdida de 7% comparado al control (21%). El contenido de FST, en los bulbos disminuyeron, pero dependió del tratamiento. Se identificaron 17 CF, y el contenido fue mayor en los bulbos recubiertos. La CAOX de los FST fue mayor que en los CT por el método de DPPH. Con el método FRAP hubo una ligera disminución de la CAOX de FST, en los bulbos con QS-TiO₂ y QS-TZM y pudo ser por la disminución de antioxidantes. No se observó toxicidad de la pulpa de yaca en cualquiera de los tratamientos evaluados, observándose 100% de supervivencia de las *A. salina*. En la evaluación sensorial los resultados mostraron una mayor aceptabilidad de color, olor y sabor en los bulbos tratados con los recubrimientos (QS, QS-TiO₂ y QS-TZM). En conclusión, el recubrimiento de QS-TZM mantuvo los parámetros fisicoquímicos, nutricionales y de compuestos bioactivos por más días en la yaca mínimamente procesada.

(Palabras clave: yaca, calidad nutricional, compuestos bioactivos, recubrimientos funcionalizados)

SUMMARY

In Mexico, the main form of consumption of jackfruit is a fresh fruit. However, there are post-harvest losses. An alternative for the utilization of jackfruit is minimal processing, and to extend its shelf life, the application of functionalized coatings with refrigerated storage. The objective of this research was to evaluate the effect of a functionalized coating with mixed oxides (TiO₂, ZnO, MgO) on the physicochemical, nutritional and bioactive compound parameters of minimally processed jackfruit. The jackfruit was collected from the municipality of San Blas, Nayarit. They were disinfected with chlorinated water (50 mg/L) and cold H₂O₂ (2%). Whole bulbs with seed were separated from the central axis of the fruit. They were randomized and immersed in cold solutions (4 °C) of 1% (w/v) citric acid and 0.1% (w/v) calcium chloride by immersion for 1 minute. Four batches of bulbs were obtained: uncoated (control), chitosan-coated (QS), chitosan-TiO₂-coated (QS-TiO₂) and chitosan+TiO₂-ZnO-MgO-coated (QS-TZM). The coating was applied by immersion (1 min), then placed in polypropylene containers and stored under refrigeration at 4 °C. Physicochemical parameters, nutritional composition, bioactive compounds and antioxidant capacity (CAOX) were evaluated. In addition, a toxicity test was performed using the *Artemia salina* model and a sensory analysis. A completely randomized 4X2 factorial design was used. Data were analyzed with analysis of variance (p<0.05) and Fisher LSD means test (α=0.05), Statistica v.12 software (Statsoft, Tulsa, Oklahoma, USA) was used. The QS-TZM coating significantly (p<0.05) delayed for a longer time (15 days) the changes in physicochemical parameters compared to the control (5 days), this could be due to the fact that its chemical structure is more stable and this allows it not to degrade during storage. The firmness in the bulbs with QS-TZM maintained the loss in 72%, this coating. The nutritional composition shows that, at the end of storage, the moisture content is lower in the bulbs with QS-TZM (0.91%). In this same treatment it was observed that in the protein content there is no significant effect (p>0.05), but in the carbohydrate, lipid and ash content there was a tendency to increase. The FD content decreased at the end of storage, this behavior coincided with firmness. In the bulbs with QS-TZM, an increase in vitamins A and E was observed, and vitamin C was conserved with a lower loss of 7% compared to the control (21%). The content of TSSF in bulbs decreased, but was treatment dependent. Seventeen CFs were identified, and the content was higher in the coated bulbs. The CAOX of FSTs was higher than in TCs by the DPPH method. With the FRAP method there was a slight decrease in the CAOX of FST, in bulbs with QS-TiO₂ and QS-TZM and could be due to the reduction in antioxidants. No toxicity of the jackfruit pulp was observed in any of the treatments evaluated, with 100% survival of the *A. salina*. In the sensory evaluation, the results showed a higher acceptability of color, odor and flavor in the bulbs treated with the coatings (QS, QS-TiO₂ and QS-TZM). In conclusion, the QS-TZM coating was the one that maintained the physicochemical, nutritional and bioactive compound parameters for more days in minimally processed jackfruit.

(Key words: jackfruit, nutritional quality, bioactive compounds, functionalized coatings).

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE ABREVIATURAS	vii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES	3
2.1 Importancia económica y producción de la yaca	4
2.1.1 Importancia nutricional del fruto de yaca	4
2.1.2 Compuestos bioactivos de la yaca	6
2.2 Frutas y hortalizas mínimamente procesados	7
2.3 Tratamientos para alargar la vida de anaquel de yaca precortada	7
2.4 Características de recubrimientos de quitosano funcionalizados	9
CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN	12
CAPÍTULO 4. HIPÓTESIS	14
CAPÍTULO 5. OBJETIVOS	16
5.1 Objetivo general	17
5.2 Objetivos específicos	17
CAPÍTULO 6. MATERIALES Y MÉTODOS	18
6.1 Diseño experimental	19
6.2 Materia prima	19
	iii

6.3 Preparación de recubrimientos	20
6.4 Procesamiento mínimo del fruto de yaca	20
6.5 Aplicación de aditivos previo al recubrimiento	21
6.6 Aplicación de recubrimientos	21
6.7 Métodos de análisis	21
6.7.1 Parámetros fisicoquímicos	21
6.7.2 Caracterización nutricional	22
6.7.3 Contenido de compuestos bioactivos	25
6.7.4 Capacidad antioxidante (CAOX)	27
6.7.5 Toxicidad por el método de <i>Artemia salina</i>	27
6.7.6 Evaluación sensorial	28
6.8 Análisis estadístico	28
CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
7.1 Parámetros fisicoquímicos	31
7.2 Caracterización nutricional	36
7.3 Contenido de compuestos bioactivos	41
7.4 Capacidad antioxidante (CAOX)	46
7.5 Toxicidad por el método de <i>Artemia salina</i>	48
7.6 Análisis sensorial	50
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES	53
CAPÍTULO 9. REFERENCIAS	55

LISTA DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 2.1	Composición proximal por cada 100 g en bulbos de yaca comestible.	5
Cuadro 2.2	Composición de vitaminas y minerales por cada 100 g en bulbos de yaca comestible.	5
Cuadro 2.3	Aplicación de recubrimientos de quitosano funcionalizado con TiO ₂ en frutas.	10
Cuadro 7.1	Sólidos solubles totales, pH, acidez titulable y color de yaca precortada sin y con recubrimientos de quitosano (QS), quitosano funcionalizado con TiO ₂ (QS-TiO ₂) y quitosano funcionalizado con TiO ₂ -ZnO-MgO (QS-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C.	31
Cuadro 7.2	Composición nutricional de yaca precortada fresca sin o con recubrimientos de quitosano (QS), quitosano funcionalizado con TiO ₂ (QS-TiO ₂) y quitosano funcionalizado con TiO ₂ -ZnO-MgO (QS-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C.	36
Cuadro 7.3	Perfil de compuestos fenólicos de yaca mínimamente procesada sin y con recubrimiento de quitosano, quitosano funcionalizado con TiO ₂ y quitosano funcionalizado con TiO ₂ -ZnO-MgO, durante el almacenamiento a 4 °C	45
Cuadro 7.4	Toxicidad de yaca mínimamente procesada sin (Control) y con recubrimientos de quitosano (QS), quitosano funcionalizado con TiO ₂ (Quitosano-TiO ₂) y quitosano funcionalizado con TiO ₂ -ZnO-MgO (Quitosano-TZM), midiendo la letalidad (%) y supervivencia (%) de los organismos de <i>Artemia salina</i> .	49

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 6.1	Desarrollo experimental del proyecto	19
Figura 7.1	Aspecto físico de los bulbos de yaca mínimamente procesada sin recubrimiento (control), con recubrimientos de quitosano (QS) y recubrimiento de quitosano funcionalizado con TiO_2 (QS- TiO_2) y funcionalizado con TiO_2 -ZnO-MgO (QS-TZM).	33
Figura 7.2	Firmeza de yaca precortada sin (control), con recubrimientos de quitosano (QS), quitosano funcionalizado con TiO_2 (QS- TiO_2), y quitosano funcionalizado con TiO_2 -ZnO-MgO (QS-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C.	35
Figura 7.3	Evolución del contenido de fenoles solubles (A), fenoles hidrolizables (B), taninos condensados (C) y carotenoides totales (D) en bulbos de yaca sin (control) y con recubrimiento de quitosano, quitosano funcionalizado con TiO_2 (Quitosano- TiO_2) y quitosano funcionalizado con TiO_2 -ZnO-MgO (Quitosano-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C.	42
Figura 7.4	Capacidad antioxidante por el método DPPH (A y B) y por el método FRAP (C y D) de fenoles totales y carotenoides totales, respectivamente en bulbos de yaca sin (control) y con recubrimiento de quitosano, quitosano funcionalizado con TiO_2 (Quitosano- TiO_2) y quitosano funcionalizado con TiO_2 -ZnO-MgO (Quitosano-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C.	47
Figura 7.5	Evaluación sensorial de color, olor y sabor de yaca mínimamente procesada sin (Control) y con recubrimientos de quitosano (QS), quitosano funcionalizado con TiO_2 (QS- TiO_2) y quitosano funcionalizado con TiO_2 -ZnO-MgO (QS-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C.	50

LISTA DE ABREVIATURAS

SADER	Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural.
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
EAG	Equivalente de ácido gálico.
IFPA	Asociación Internacional de Productos Frescos Precortados.
QS	Quitosano.
QS-TiO ₂	Quitosano funcionalizado con dióxido de titanio
QS-TZM	Quitosano funcionalizado con dióxido de titanio y óxidos mixtos
TSS	Ácidos orgánicos.
DPPH	Método 2,2-difenil-1-picrilhidrazil.
FRAP	Poder Antioxidante de Reducción Férrica.
CAOX	Capacidad antioxidante.
HPLC	Cromatografía Líquida de Alta Eficacia.
AOAC	The Association of Official Analytical Chemists.
C	Croma
L	Luminosidad
°Hue	Ángulo de tono
FDS	Fibra Dietética Soluble.
FDI	Fibra Dietética Insoluble.
FDT	Fibra Dietética Total.
AA	Ácido ascórbico.
RAE	Equivalente de actividad de retinol.
EtOAc	Acetato de etilo.
HPLC-DAD-MS/	Cromatografía Líquida de Alta Resolución-Detección de Matriz de
MS	Diodos-Espectrometría de Masas en Tándem.
SST	Sólidos solubles totales
AT	Acidez titulable

CAOX	Capacidad antioxidante
FST	Fenoles solubles totales
CF	Compuestos fenólicos
TH	Taninos hidrolizables
TC	Taninos condensados
UI	Unidades Internacionales
PPO	Polifenol oxidasa
CT	Carotenoides totales
bh	Base húmeda
bs	Base seca

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la yaca reporta una producción agrícola de 3.7 millones de toneladas. No obstante, en los últimos diez años la producción de este fruto en México ha incrementado en un 400%. Nayarit es el principal productor nacional de yaca con 24,792 toneladas y aunque existen otros estados productores como Veracruz, Jalisco, Colima, Michoacán e Hidalgo el porcentaje de producción es solamente del 2%.

Los frutos maduros de la yaca son considerados nutritivos por su contenido de minerales como fósforo, potasio, magnesio y hierro; además de tener concentraciones de fitoquímicos como los compuestos fenólicos y carotenoides.

En México, la principal forma de consumo de la fruta de yaca es la pulpa fresca, no obstante, existen pérdidas postcosecha de los frutos que no se exportan en la temporada alta, ya que el fruto es altamente perecedero. La pulpa de yaca se vende con un procesamiento mínimo, pero su vida de anaquel es menor a 3 días a 25 °C; por lo que se siguen buscando alternativas que alarguen la vida de anaquel de yaca precortada y se conserve su calidad. Una alternativa podría ser la, combinación del procesamiento mínimo, aplicación de recubrimientos y el almacenamiento en refrigeración. Los recubrimientos actúan como una barrera al O₂ y así disminuyen los cambios fisiológicos alargando la vida de anaquel. Sin embargo, el efecto depende de la fruta precortada, en yaca se han reportado 12 días de vida de anaquel a 4 °C, cuando se agregan aditivos y un recubrimiento a base de polisacáridos. Aunque no se reporta su calidad nutricional.

En los últimos años se desarrollan nuevos recubrimientos comestibles, llamados recubrimientos comestibles funcionalizados, cuya principal característica es la combinación de polímeros con nanomateriales, para que además de disminuir la permeabilidad al O₂, actúen como antimicrobianos. Aún existen pocos estudios que evalúen el efecto de los recubrimientos sobre la calidad nutrimental en los frutos enteros o precortados. Por ello, la presente investigación pretende evaluar el efecto de recubrimientos funcionalizados con nanomateriales (TiO₂, Zn, Mg) en la calidad nutricional y contenido de compuestos bioactivos de la fruta de yaca mínimamente procesada.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.1 Importancia económica y producción de la yaca

A nivel mundial, la producción de yaca es de aproximadamente 3.7 millones de toneladas (FAO 2018). Los principales países productores de este fruto son Tailandia, Indonesia, Filipinas, Malasia, Bangladesh, el sur de China, el sur de Asia, Australia, Florida (EE. UU.), el Caribe y países de América Latina (FAO 2018; Jagadeesh et al. 2007). No obstante, en los últimos diez años la producción de este fruto en México ha incrementado un 400%, con una producción actual de 26,641.38 toneladas (SIAP, 2020).

Nayarit es el principal productor nacional de yaca con 22 192.83 toneladas al año y aunque existen otros estados productores (Veracruz, Jalisco, Colima, Michoacán, Hidalgo) su producción solo representa menos del 2%. Dentro del territorio nacional el fruto se vende en mayor cantidad en los estados de Jalisco, Sinaloa y CDMX, en territorio internacional los destinos son Estados Unidos y Canadá (SADER 2018; SIAP 2019).

La exportación para el mercado internacional requiere casi la totalidad de la producción (97%) con una ganancia más de 7 millones de dólares (SIAP, 2020). Aunque, han desarrollado una serie de productos a partir de este fruto, tales como pasteles, mermelada, helados, bebidas fermentadas entre otros (Asquiere, Rabelo y Silva 2008), en nuestro país estos productos se venden en minoría; por lo tanto, el mayor porcentaje de este fruto que queda en México es consumido en fresco.

2.1.1 Importancia nutricional del fruto de yaca

El fruto de yaca contiene aproximadamente 100 a 500 bulbos comestibles de color amarillo anaranjado, los cuales representan el 30% del peso total, (Ulloa et al. 2007). Los frutos maduros de la yaca se caracterizan por tener un alto contenido de agua de 73-87% (Cuadro 2.1), en estado de madurez comestible. El contenido de carbohidratos en la pulpa madura es entre 15-30% de carbohidratos, y los azúcares simples que predominan son la glucosa, fructosa, xilosa, ramnosa, arabinosa y galactosa (Baliga et al., 2011; Kaushal y Sharma, 2016).

Cuadro 2.1 Composición proximal por cada 100 g en bulbos de yaca comestible.

Componente	Chandra y Bharati (2020)	USDA (2018)	Amadi et al. (2018)	Shafiq et al. (2017)
Energía (kcal)	357±0.13	397	ND	ND
Humedad (%)	76.20 ±42.2	73.46	86.93±0.0	71.60
Carbohidratos (%)	93.64±0.03 (TC)*	23.25	7.74±0.18	13.08
Proteína total (%)	1.61±0.02	1.72	1.06±0.04	1.48
Lípidos totales (%)	1.76±0.05	0.64	1.49±0.04	0.63
Cenizas (%)	2.99±0.16	0.8	1.02	1.89
Fibra (%)	10.10±0.2**	1.5	3.01±0.05	6.32

*TC: Carbohidratos totales; **Fibra cruda; ND: No Determinado

La pulpa tiene bajo contenido de proteínas (1.06-1.72%) y lípidos (0.63-1.76%), pero se considera una buena fuente de fibra, aunque depende del genotipo (Chandra y Bharati, 2020). El contenido de minerales totales en la yaca oscila entre 0.9 y 2.99% (TACO, 2006; Chandra y Bharati, 2020); y de manera específica los minerales en mayor contenido son: fósforo, potasio, magnesio y hierro (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2 Composición de vitaminas y minerales por cada 100 g en bulbos de yaca comestible.

Componente (mg / 100 g)	Chandra y Bharati (2020)	Sy Mohamad et al. (2019)	USDA (2018)	Amadi et al. (2018)
Vitamina C	ND	ND	13.700	2.10±0.0
Tiamina	ND	ND	0.105	ND
Riboflavina	ND	ND	0.05	ND
Piridoxina	ND	ND	0.329	ND
Niacina	ND	ND	0.920	ND
Potasio	ND	769.32	448	330
Calcio	36.75±0.03	40.86	24	30
Fosforo	ND	12.88	21	ND
Magnesio	0.36±.015	102.94	ND	ND
Hierro	0.34±0.01	1	0.23	21.50±0.71
Zinc	0.09±0.02	1.36	0.13	5.20±0.07

ND: No determinado

También se han reportado en pulpa de yaca los aminoácidos: triptófano, treonina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, cistina, fenilalanina, tirosina, valina, arginina, histidina, alanina, ácido aspártico, glicina, prolina y serina (Guiné y Guiné, 2019; USDA, 2018).

Así mismo se reportan vitaminas tales como vitamina C, tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico, piridoxina, aunque por tener alto contenido de carotenoides se considera fuente de vitamina (TACO, 2006; Teja et al., 2016; USDA, 2018) (Cuadro 2.2).

2.1.2 Compuestos bioactivos de la yaca

Desde años anteriores la pulpa, las hojas y las cortezas de yaca han sido utilizado en la medicina tradicional para diferentes efectos terapéuticos tales como inflamatorios, antiproliferativos, con actividad hipoglucemiante, antioxidante y como agentes antimicrobiano (Ranasinghe, Maduwanthi y Marapana, 2019). En particular, la fruta de yaca en su composición tiene un alto contenido de fitoquímicos, y entre los mayormente reportados se encuentran, fitoesteroles, carotenoides y compuestos fenólicos (Muhialdin et al. 2021).

Los bulbos de yaca son una fuente rica de carotenoides cuando están en estado de madurez de consumo. Los carotenoides tienen la característica de proporcionar el color dorado amarillento a los bulbos del fruto (Muhialdin et al. 2021). La USDA (2018) menciona que hay presencia de 61 μg de β -caroteno y 6 μg de α -caroteno por cada 100 g en fruta fresca de yaca. También hay presencia de otros carotenoides como la all-trans-luteína (24–44%), all-trans- β -caroteno (24–30%), all-trans-neoxantina (4–19%), 9-cis-neoxantina (4–9%) y 9-cis-violaxantina (4–10%) (Faria, De Rosso, y Mercadante 2009). Suwanarung (2016) realizó un estudio para determinar el contenido de licopeno en diferentes frutas y encontró que en la yaca contiene aproximadamente 4.122 mg/kg. Por el contenido de carotenoides, se puede decir la yaca es una fruta con excelente fuente de vitamina A (Balamaze, Muyonga y Byaruhanga 2019).

Otros fitoquímicos de importancia en la fruta de yaca son los compuestos fenólicos. Shafiq et al. (2017) reportó que el contenido de polifenoles totales en fruta de yaca, en madurez comestible, es de 71.60 mg/100 g de muestra, identificando principalmente ácido gálico, ferúlico y tánico. Por otro lado, Amadi et al. (2018) encontraron un contenido de taninos y flavonoides de 0.03 mg/100 g y 3.91 mg/100 g, respectivamente. Otro estudio menciona que

el resveratrol (trans-3,5,4-trihidroxiestilbeno), también es un polifenol que está presente en la fruta de yaca (Lagouge et al. 2006).

Los nutrientes y compuestos bioactivos de la fruta de yaca fresca, son de interés para los consumidores ya que éstos tienen efectos benéficos a la salud (Calderón-Oliver y Ponce-Alquicira, 2018). Por lo tanto, el análisis de estos parámetros sigue siendo de interés, sobre todo en frutos mínimamente procesados, ya que existe muy poca información.

2.2 Frutas y hortalizas mínimamente procesados

La Asociación Internacional de Productos Frescos Precortados (IFPA, por sus siglas en inglés) define a los productos mínimamente procesados, a las frutas o verduras que han sido alterados físicamente de su forma original. El objetivo de este tipo de procesamiento es mantener la frescura y calidad nutricional de los productos, además de alargar la vida útil de anaquel para hacer posible su posterior distribución (IFPA 2002; Rico et al. 2007).

Sin embargo, al ser cortadas se desencadenan diferentes respuestas fisiológicas como aumento de la respiración, producción de etileno, liberación de enzimas oxidantes que provocan la pérdida de compuestos bioactivos y características organolépticas; además del que están expuestas a la contaminación microbiana (Pradas-Baena, Moreno-Rojas y Luque de Castro 2015). Para ello, se requieren de tratamientos para extender la vida útil y facilitar el transporte desde el lugar de producción hasta la distribución (Anaya-Esparza et al. 2020). Para el caso particular de la yaca, el procesamiento mínimo sigue siendo muy atractivo, ya que es un fruto múltiple, se corta el fruto, pero no la fruta o bulbos, y esto puede ser una ventaja a diferencia de frutos tipo drupa. A continuación, se mencionan, algunos reportes donde se han aplicado diferentes tratamientos para alargar la vida de anaquel de la yaca mínimamente procesada y los cambios en algunos parámetros fisicoquímicos.

2.3 Tratamientos para alargar la vida de anaquel de yaca precortada

Hoy en día existen varios tratamientos para alargar la vida de anaquel de yaca precortada. Para mantener la pulpa de yaca casi fresca se puede mencionar la aplicación de antimicrobianos, antioxidantes, recubrimientos y atmósferas modificadas, solos o combinados (Anaya-Esparza et al., 2020). De estos tratamientos, el más efectivo es la atmósfera modificada; sin embargo, es altamente costosa; por lo que para micro, pequeños

y medianos industriales no sería viable su implementación; sin embargo, existen alternativas de procesamiento mínimo de yaca más baratas, las cuales se describen a continuación:

Ulloa et al. (2010) sumergieron los bulbos de yaca en una solución combinada de sorbato de potasio (1.5 g/L), ácido ascórbico y cítrico (10 g/L), los empacaron en cajas de polipropileno y almacenaron a una temperatura de 6 °C. Como resultado mencionan que hubo un control en el crecimiento de microorganismo mesófilos aerobios durante 12 días sin alterar significativamente el color de la fruta. La inmersión de los bulbos de yaca en ácido ascórbico (1.5%) y lactato de calcio (2.5%) durante 2 minutos; el envasado en bolsas de polietileno y almacenamiento de 7-10 °C, minimizaron la carga microbiana, mantuvieron el color y los sólidos solubles totales, pero solo tuvieron 5 días de vida de anaquel (Acedo et al. 2013). Por su parte, Ekanayaka et al. (2015) reportaron que la aplicación de una solución al 1.5% de ácido cítrico, 1.5% de ácido ascórbico y 1% de metabisulfito de sodio, se mantuvo la firmeza de bulbos de yaca y las cuentas microbianas estuvieron en los límites permitidos después de un almacenamiento por 7 días.

Otros estudios han evaluado la aplicación de antagonistas del etileno, aditivos y recubrimientos en bulbos de yaca almacenada a 4 °C. Teja et al. (2016) evaluaron el efecto de un recubrimiento con el gel de *Aloe vera* en la vida de anaquel de bulbos de yaca y encontraron, que se minimizó la pérdida de peso, y se preservó el contenido de ácido ascórbico, pH, acidez titulable, y SST, con una vida de anaquel de 7 días. Vargas-Torres et al. (2017) evaluó el efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) antes y después del corte del fruto yaca, aplicación de aditivos (1% sorbato de potasio y 0.1% cloruro de calcio) a los bulbos y después la aplicación de recubrimientos comestibles (0.8% de alginato de sodio o 0.7% de goma xantana). Los autores demostraron que, con la combinación de estos tratamientos, hubo una disminución en la velocidad de respiración y pérdida de peso; se preservó el ácido ascórbico, parámetros fisicoquímicos y compuestos fenólicos, pero la vida de anaquel fue solo de 12 días de almacenamiento a 4 °C.

Como resumen, la mayoría de los reportes solo se evalúa la calidad microbiológica y parámetros fisicoquímicos, y solo dos estudios reportan los cambios en algún nutriente y compuestos bioactivos durante el almacenamiento de los frutos mínimamente procesados, por lo que, para darle mayor valor agregado a este tipo de productos, son necesario darle

mayor importancia a la preservación de la calidad nutricional. Por otro lado, con el procesamiento mínimo de los bulbos de yaca hasta ahora reportados, se puede asumir que la máxima vida de anaquel alcanzada es de 12 días de almacenamiento en refrigeración, por lo que se requiere seguir buscando alternativas para aumentar esta vida útil de los bulbos de yaca.; una de estas alternativas puede ser el uso de recubrimientos de quitosano funcionalizados.

2.4 Características de recubrimientos de quitosano funcionalizados

Los recubrimientos tienen la finalidad de actuar como una barrera física para proteger el fruto de los factores ambientales (oxígeno, humedad o microorganismos) (USDA 2016). Pueden ser elaborados a partir de proteínas, lípidos o polisacáridos. Los polisacáridos más empleados para este fin son el almidón, celulosa, pectina, alginato y quitosano (Solano-Doblado, Alamilla-Beltrán y JiménezMartínez 2018). La elección del quitosano como recubrimiento comestible tiene la ventaja porque se ha demostrado que puede inducir los mecanismos de defensa en los frutos (propiedades antimicrobianas) y propiedades tecnológicas (solubilidad, compatibilidad con compuestos orgánicos e inorgánicos y la capacidad para la formación de la película) (Bautista-Baños et al. 2017). Actualmente, investigaciones han demostrado que funcionalizar el quitosano, es decir, incorporar en su interior diferentes compuestos orgánicos, inorgánicos o biológicos, mejora y potencializa las propiedades tecnológicas para la conservación de frutas y hortalizas (Hajji et al. 2018). Los compuestos inorgánicos utilizados para funcionalizar el quitosano son el dióxido de silicio, montmorillonita, plata y titanio (Shi et al., 2013; Kaewklin et al., 2018; Xu et al., 2018; Ortiz-Duarte et al., 2019). Siripatrawan y Kaewklin (2018) mencionan que la interacción de las nanopartículas de TiO_2 dentro de la matriz de quitosano ocurre principalmente en la región amorfa del biopolímero. Aunque, se ha reportado que los grupos funcionales $-NH_2$ y $-OH$ presentes en la estructura del quitosano son los responsables directos de la interacción (Habiba et al., 2016).

Hasta ahora, se ha estudiado el recubrimiento de quitosano funcionalizado con óxido de titanio (TiO_2) y ha demostrado que tiene la capacidad de retardar el proceso de maduración de los frutos enteros debido a que por un lado, el recubrimiento disminuye la permeabilidad del oxígeno, mientras que por otro lado el TiO_2 tiene la capacidad de generar radicales

hidroxilo (-OH) y otras especies reactivas de oxígeno en presencia de luz UV, los cuales a su vez pueden reaccionar con moléculas orgánicas como el etileno y descomponerlo en CO₂ y agua (Kaewklin et al., 2018). Asimismo, tienen mejor estabilidad térmica y tiene un efecto inhibitor sobre el crecimiento de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* (Xing, et al., 2020a).

En el Cuadro 2.3 se muestran algunos estudios actuales donde se aplicaron recubrimientos de quitosano funcionalizados con TiO₂ en frutas tales como arándanos, manzanas, mango y melón precortado. De manera general se reporta que se mantiene el contenido de ácido ascórbico de las frutas, el contenido de compuestos bioactivos y se controla el crecimiento microbiano, durante el almacenamiento.

Cuadro 2.3. Aplicación de recubrimientos de quitosano funcionalizado con TiO₂ en frutas.

Frutas	Recubrimiento	TA	Resultados	Referencia
Arándanos	Quitosano (1%) + TiO ₂ (1%)	25 °C	Mantiene el contenido de ácido ascórbico, controla el crecimiento microbiano con una vida útil de 8 días.	Rokayya et al., 2021
Manzanas	Quitosano + TiO ₂ + extracto de litchi	0 ± 1 °C	Mantiene el contenido fenólico y capacidad antioxidante. Vida de anaquel de 180 días	Liu et al., 2021
Mango	Quitosano (1%) + TiO ₂ (0.03%)	13 °C	Mejora la firmeza, TSS y mantiene el contenido de fenoles totales y flavonoides. Tiene una vida de anaquel de 15 días.	Xing et al., 2020b
Trozos de melón	Quitosano (1%) + TiO ₂ (1%)	4 °C	Mantiene TSS, disminución de hongos y levaduras. La vida de anaquel fue de 8 días.	Qiao et al., 2019

TA = Temperatura de almacenamiento

Por otro lado, el TiO₂ puede ser combinado con otros compuestos inorgánicos como el óxido de zinc (ZnO) y óxido de magnesio (MgO) para formar óxidos mixtos (TiO₂-ZnO-MgO), teniendo como resultado una mejora en las propiedades y potenciales aplicaciones del TiO₂ como actividad antimicrobiana (Díaz-Visurraga et al., 2009). Estos óxidos mixtos pueden combinarse con el quitosano para formar nuevos recubrimientos. Anaya-Esparza et al. (2021) formuló un recubrimiento de quitosano funcionalizado con TiO₂-óxidos mixtos

(ZnO–MgO), pero hasta el momento no se han probado como una alternativa para alargar la vida de anaquel de frutos enteros y mínimamente procesados. Es por ello, el interés de esta propuesta de investigación..

CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN

CAPÍTULO 3. JUSTIFICACIÓN

El fruto de yaca tiene un alto valor nutricional; proporciona diferentes compuestos bioactivos benéficos para la salud. En México es consumida principalmente en fresco, por lo que su venta en esta presentación la hace altamente perecedera. Debido a lo anterior, es necesario seguir con la búsqueda de estrategias de conservación de la fruta de yaca mínimamente procesada. Los recubrimientos comestibles aplicados en fruta precortada, es un procesamiento mínimo considerado como una alternativa para frutos múltiples como la yaca, ya que pueden prolongar la vida de anaquel y conservar características de calidad. Sin embargo, aunque se han aplicado recubrimientos comestibles en la yaca precortada no se ha logrado aumentar más de 12 días la vida de anaquel y existen muy pocos estudios sobre la conservación de nutrientes y compuestos bioactivos en este tipo de productos.

En los últimos años se han desarrollado nuevos recubrimientos comestibles, llamados recubrimientos comestibles funcionalizados, entre los que destacan recubrimientos de quitosano funcionalizado con TiO_2 , demostrando que estos recubrimientos pueden destruir el etileno producido por las mismas frutas, manteniendo los parámetros fisicoquímicos y retrasando el deterioro microbiano, dando como consecuencia un aumento de la vida de anaquel en frutas. En el Instituto Tecnológico de Tepic en colaboración con la Universidad de Guadalajara se desarrolló un nuevo recubrimiento de quitosano funcionalizado con TiO_2 y óxidos mixtos; por lo que el presente estudio pretende evaluar este recubrimiento como una alternativa más de conservación de yaca mínimamente procesada que permita conservar la calidad nutricional y el contenido de compuestos bioactivos.

CAPÍTULO 4. HIPÓTESIS

CAPÍTULO 4. HIPÓTESIS

La aplicación de un recubrimiento funcionalizado con óxidos mixtos conserva las características nutricionales y contenido de compuestos bioactivos de la fruta de yaca mínimamente procesada, así como causa de nula a muy baja toxicidad en *Artemia salina* y se mantienen las características sensoriales.

CAPÍTULO 5. OBJETIVOS

CAPÍTULO 5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de un recubrimiento funcionalizado con óxidos mixtos (TiO_2 , ZnO , MgO) en los parámetros fisicoquímicos, nutricionales y de compuestos bioactivos de la fruta de yaca mínimamente procesada.

5.2 Objetivos específicos

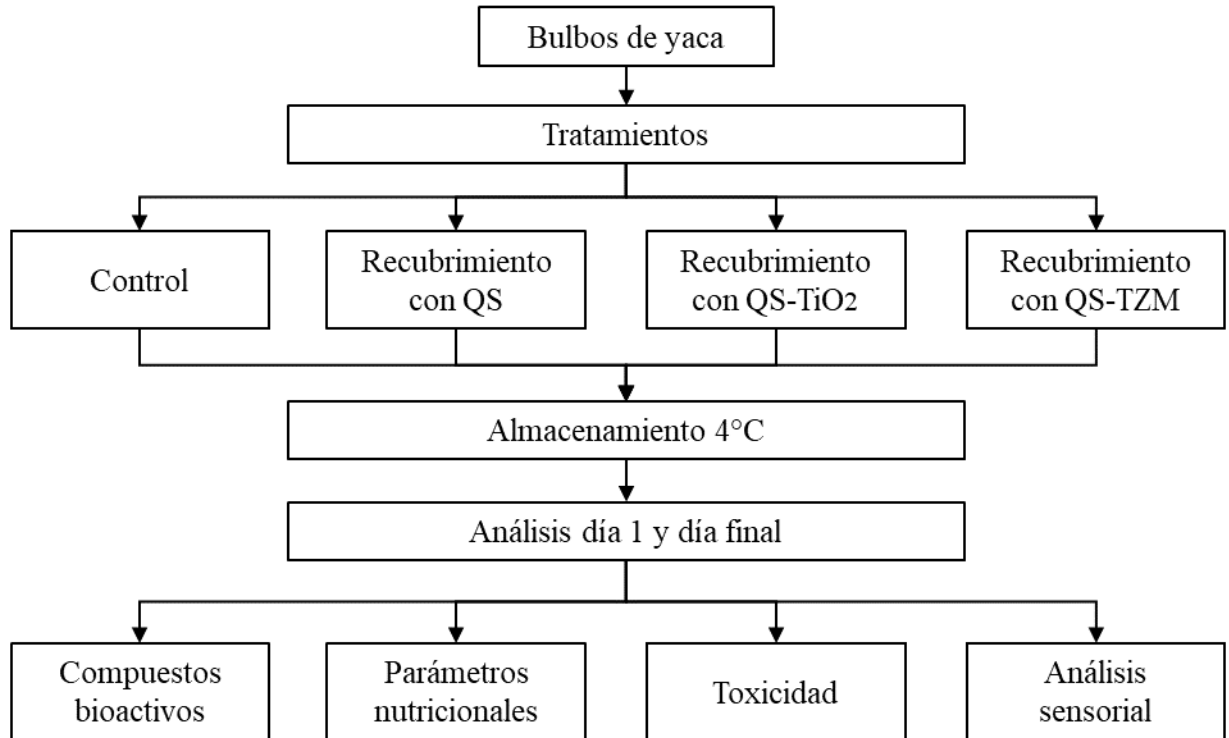
1. Evaluar el efecto de la aplicación de un recubrimiento de quitosano funcionalizado con nanomateriales (TiO_2 , $\text{TiO}_2\text{-ZnO-MgO}$), midiendo las características fisicoquímicas y nutricionales de la fruta de yaca mínimamente procesada.
2. Investigar si existen cambios en el contenido y perfil de compuestos fenólicos, y carotenoides extraídos de bulbos de yaca con recubrimientos funcionalizados y almacenados en refrigeración; así como medir la capacidad antioxidante.
3. Realizar la prueba de toxicidad con *Artemia salina* a los bulbos de yaca recubiertos, y una evaluación sensorial.

CAPÍTULO 6. MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO 6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental factorial 4x5 completamente al azar, donde el primer factor fue el tratamiento con cuatro niveles (Control, QS, QS-TiO₂ y QS-TZM), y el segundo factor fue el tiempo de almacenamiento (1, 5, 10, 13 y 15 días). En Figura 6.1 se muestra el desarrollo experimental del proyecto.



QS = quitosano

QS-TiO₂ = recubrimiento funcionalizado con TiO₂

QS-TZM = recubrimiento funcionalizado con TiO₂-ZnO-MgO

Figura 6.1 Desarrollo experimental del proyecto

6.2 Materia prima

Como materia prima se utilizó yaca del genotipo “Agüitada”, recolectada del municipio de San Blas, Nayarit. Se recolectaron 7 frutos de yaca. Se empacaron de manera individual en cajas de plástico con relleno de papel para evitar daños y se transportaron al Laboratorio

Integral de Investigación en Alimentos del Instituto Tecnológico de Tepic. Se obtuvieron los frutos de yaca de color amarillo-con tonos café en la cáscara, con una firmeza de 49 N y sólidos solubles totales (SST) de 22-23 °Brix.

Los frutos enteros de yaca se lavaron con agua y jabón, se desinfectaron con agua clorada (50 mg/L) sumergiendo los frutos durante 10 min y posteriormente se asperjaron los frutos con peróxido de hidrógeno frío al 2%, se dejaron secar en refrigeración a 4 °C antes de cortar.

6.3 Preparación de recubrimientos

Recubrimiento con QS. Los recubrimientos a base de quitosano se prepararon siguiendo la metodología, propuesta por Yong et al., (2019) con ligeras modificaciones. Primeramente, se preparó la solución formadora de película mezclando 1 g de quitosano (QS, peso molecular medio, Sigma Aldrich Chemical Company, St. Louis, MO, EE. UU.) por cada 100 mL de una solución acidificada al 0.6% v/v de ácido acético glacial y bajo agitación magnética hasta que el quitosano se disuelva completamente. Posteriormente, se midió el pH de la disolución obteniendo 4.5 (Tang et al. 2016).

Recubrimiento QS-TiO₂. El TiO₂ se homogenizó previamente en 5 mL de solución de ácido acético glacial al 0.6% y se sonicó (Fisherbrand™, baño ultrasónico CPX1800, Branson Korea Co., Ltd. Corea del Sur) durante 5 minutos para evitar aglomeraciones. A la solución de quitosano ya mencionada, se agregaron 500 µg/mL de TiO₂. Aunado a lo anterior, se añadió 15% de glicerol con respecto al total de sólidos en la solución (Tang et al. 2016). Una vez obtenido la solución formadora de recubrimientos se homogenizó en un sonicador ultrasónico UP400S (400 W, frecuencia de 24 kHz) (Hielscher Ultrasonics, Teltow, Alemania) durante 5 minutos a una amplitud de 20%. Previo a la aplicación en los frutos la solución resultante se esterilizó a 121 °C durante 15 minutos.

Recubrimiento QS-TZM. A la solución con quitosano, las nanopartículas de TiO₂-ZnO-MgO, compuesta por TiO₂ 90%, Zn 5% y Mg 5%) se agregaron en una concentración de 500 µg/mL (Tang et al. 2016). Posteriormente, se realizó el mismo procedimiento de homogenización y esterilización para su utilización en los bulbos de yaca madura.

6.4 Procesamiento mínimo del fruto de yaca

El corte de los frutos se realizó en un ambiente a 20 °C con la finalidad de disminuir la velocidad de los procesos metabólicas del fruto, para lo cual se siguieron las buenas prácticas de manufactura. Los frutos de yaca fueron cortados de manera manual a lo largo del eje principal utilizando cuchillos estériles de acero inoxidable, se retiró la cascara para obtener los bulbos con semilla. Los bulbos obtenidos fueron aleatorizados antes de la aplicación de los recubrimientos y mantenidos siempre en una cama de hielo.

6.5 Aplicación de aditivos previo al recubrimiento

Los bulbos de yaca fueron sumergidos en soluciones frías (4 °C) de ácido cítrico al 1% (p/v) y cloruro de calcio al 0.1% (p/v) durante 1 minuto cada uno (Ulloa et al., 2007; Vargas-Torres et al., 2017). Se dejaron escurrir y secar a 4 °C.

6.6 Aplicación de recubrimientos

La aplicación de los recubrimientos se realizó por inmersión durante 1 minuto en una solución fría (4 °C), posteriormente, se colocaron en rejillas para que el recubrimiento secase, luego se empacaron en recipientes de plástico de polipropileno previamente sanitizados (13 cm × 11.5 cm × 8 cm) con una tapa perforada. Una vez empacados los bulbos se almacenaron a 4 °C (Qiao et al. 2019; Xing, Yang, et al. 2020b). Se obtuvieron tres lotes de bulbos de yaca recubiertos: con quitosano (QS), con quitosano funcionalizado con TiO₂ (QS-TiO₂) y con quitosano funcionalizado con TiO₂-ZnO-MgO (QS-TZM). Además, como testigo se tuvo un lote de bulbos de yaca sin recubrir.

6.7 Métodos de análisis

6.7.1 Parámetros fisicoquímicos

Sólidos Solubles Totales (SST). Los SST se cuantificaron en un refractómetro marca Abbe modelo 315, el cual se calibró previamente con agua destilada de acuerdo con lo establecido por la AOAC (2005).

Potencial de hidrógeno (pH). El pH se determinó utilizando un potenciómetro marca HANNA modelo HI 221 PH/MV, de acuerdo con lo establecido en la AOAC (2005).

Acidez titulable (AT). Se determinó volumétricamente de acuerdo con lo establecido por la AOAC (2005). Se homogenizaron 5 g de muestra con 20 mL de agua destilada, se tituló con

NaOH 0.1 N usando un titulador automático (SCHOTT Instruments, Berlín, Germany). Los resultados se expresaron en porcentaje de ácido cítrico.

Color. El color se cuantificó utilizando un colorímetro (NR-200, Shanghai, China) calibrado previamente, se tomaron tres lecturas en tres puntos diferentes de cada bulbo, los resultados se expresaron de acuerdo al sistema de coordenadas rectangulares $L^* a^* b^*$. Por lo que fueron convertidos para obtener los parámetros L, C, H.

Firmeza. Se determinó con un texturómetro (TA XT plus, Londres, Inglaterra). Las pruebas se realizaron con un puntal cilíndrico de 2 mm de diámetro y una longitud de penetración de 1.5 cm. Los resultados se expresaron en Newton (N).

6.7.2 Caracterización nutricional

Humedad. Se realizó de acuerdo la técnica por la AOAC 925.09 (2005). Se colocaron 2 g de muestra en charolas de aluminio a peso constante y se secó la muestra en una temperatura de 60 °C durante 24 h. Los resultados se expresan en g/100 g en base húmeda (bh).

Carbohidratos solubles. La cuantificación de carbohidratos totales se determinó por el método propuesto por Loewus (1952). Se pesaron 0.5 g de muestra en tubos de centrifuga, se añadieron 20 mL de etanol al 85% a 50 °C, para después agitar durante 1 h. Transcurrido el tiempo se centrifugó durante 15 minutos a 10,000 rpm y se recolectaron los sobrenadantes y se aforaron a 50 mL con etanol al 85%. Para llevar a cabo la reacción se tomó 1 mL del extracto y 2.5 mL del reactivo de antrona al 0.2%, enseguida se incubó a 100 °C por 10 minutos, se enfrió y se procedió a la lectura con el espectrofotómetro a 624 nm. Los carbohidratos solubles totales se cuantificaron con una curva patrón de glucosa y se reportaron en g/100 g bh.

Proteína total. La determinación de proteína se realizó por el método Kjeldahl propuesto por Villegas et al. (1982) y algunas modificaciones. Se pesaron 0.15 g de muestra y se colocaron en el matraz de digestión. Después se adicionaron 2.5 mL H₂SO₄ y 1 g de mezcla digestora (sulfato de cobre pentahidratado, sulfato de potasio y óxido de selenio). Posteriormente el matraz se colocó en el equipo, se calentó a temperatura vigorosa hasta que la solución quedó a un verde esmeralda transparente y se procedió a esperar enfriar por 5 minutos. Una vez enfriado se agregó 7.5 mL de agua destilada.

En la recuperación del amonio primero se colocó en el destilador un vaso de precipitado con 10 mL de HCl 0.1N e indicador (2 gotas de rojo de metilo al 0.1%). Posteriormente, se agregó la muestra obtenida de la digestión y 10 mL de NaOH al 36%. Se destiló hasta obtener un volumen de 40 mL.

Una vez recaudado el destilado (NH_3), se removió el vaso de precipitado aceptor y se tituló el exceso de la solución estándar de HCl con NaOH 0.097N previamente valorado. Los resultados se expresaron en g/100 g bh.

Lípidos totales. Se realizó de acuerdo por la AOAC 920.39 (2005) mediante el método de extracción Soxhlet. Se pesaron 2 g de muestra y se colocaron en cartuchos de extracción. Se añadió 150 mL de éter de petróleo al matraz. Se calentó el matraz hasta ebullición del solvente durante 6 h, se evaporó el solvente y se secó el matraz en la estufa a 60°C. Los resultados se expresaron en g/100 g bh.

Cenizas. La determinación de cenizas se realizó de acuerdo al método descrito por la AOAC 923.03 (2005). Se pesó 2 g de muestra, posteriormente se calcinó en la mufla a 550 °C. Los resultados se expresan en g/100 g bh.

Fibra dietética. La fibra dietética soluble (FDS), la fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética total (FDT), que es la suma de FDS y FDI, se analizaron mediante el método enzimático-gravimétrico AOAC (método 991.42), modificado por Mañas y Saura-Calixto (1995).

Para medir la FDS se pesó 0.5 g de muestra, se añadió 25 mL de buffer fosfatos (pH 6), se agregó 25 μL de α -amilasa, se dejó en baño a 100 °C durante 35 min. Posteriormente se llevó a pH de 7.5, se agregó 50 μL de solución proteasa y se colocó en baño con agitación a 60 °C durante 35 min. Se volvió ajustar el pH a 4.5, se agregó 150 μL de aminoglucosidasa, se dejó en baño con agitación a 60 °C por 35 min, se dejó enfriar y se centrifugó durante 20 min a 13000 rpm. Se recolectaron los sobrenadantes para dializarlos en membranas de celulosa con punto de corte para peso molecular entre 12000-14000 Da. El sistema de diálisis se mantuvo durante 24 h. Transcurrido el tiempo el contenido de las membranas de diálisis se tomó 17 mL del extracto y se adicionó 1 mL de H_2SO_4 , se dejó en baño a 100 °C durante 90 min. Finalmente, la FDS se midió con el espectrofotómetro a 540 nm.

La determinación de la FDI. El residuo descartado anteriormente se lavó con 10 mL de etanol al 96% y 10 mL de acetona. Se eliminaron los sobrenadantes y el residuo se dejó secar por 8 h a 60 °C. Se añadió 3 mL de H₂SO₄ y se dejó en baño a 30 °C durante 1 h, luego se agregó 33 mL de agua destilada y se volvió a colocar en baño a 100 °C durante 90 min. Se centrifugó durante 10 minutos a 10000 rpm, los sobrenadantes fueron recolectados y la FDI se midió con el espectrofotómetro a 540 nm. Asimismo, se determinó el contenido de lignina Klason. El contenido de FDT se calculó con la suma de FDS y FDI.

6.7.2.1 Contenido de vitaminas

Vitamina C. Se utilizó el método de Barbosa et al., (2017), las muestras (0.1 g) se mezclaron con 10 mL de H₃PO₄, después se centrifugó a 6000 rpm durante 20 minutos a 4°C. El sobrenadante se filtró. El sobrenadante se filtró (0.20 µm, Millex®GN, EE.UU.) y se inyectó 20 µL a un cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) Agilent 1260 Infinity (Agilent Technologies, Waldbronn, Alemania). Se usó una columna ZORBAX Eclipse Plus C18 (4,6 mm × 100 mm; Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE. UU.), y la separación fue isocrática con fosfato de sodio monobásico (NaH₂PO₄) a pH 2,7 y 0,5 mL/min como fase móvil. El ácido ascórbico (AA) se detectó a 250 nm con un detector de arreglo de fotodiodos UV-VIS. Los resultados se expresaron en mg/100 g bh.

Vitamina E. La determinación de los tocoferoles se utilizó el método de Restrepo et al., (2009) con modificaciones. La muestra (3 g) fue homogeneizada (Ultra-turrax, IKA T18d S1, Staufen, Alemania) con 5 mL de solución KOH (13,8 mol/L), 16 mL de etanol y 0,1 g de hidroxiquinona. Posteriormente se mantuvo la mezcla a 80°C en un baño de agua durante 30 min, se enfrió y se le añadieron 16 mL de hexano. Se agitaron los tubos durante 30s y luego se colocó en oscuridad durante 10 min. Se rotaevaporó el solvente a 58°C y se resuspendió en 1 mL de metanol. Se filtró (0,20 µm, Millex®GN, EE.UU.) y se inyectaron 50 µL en un HPLC Agilent 1260 Infinity (Agilent Technologies, Waldbronn, Alemania). Se utilizó una columna ZORBAX Eclipse Plus C18 (4,6 mm × 100 mm; Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE. UU.) y separación isocrática con metanol/agua (98:2 v/v) a 0,5 mL/min. La vitamina E se detectó a 280 nm. Los resultados se expresarán en mg/100 g bh.

Pro-vitamina A. Para la cuantificación de provitamina A, se consideró la cantidad de carotenoides totales presentes en las muestras y el cálculo se realizó de acuerdo a la

recomendación del Instituto de Medicina de los Estados Unidos (2001), la cual establece que 1 μg equivalente de actividad de retinol (RAE) corresponde a 24 μg de carotenoides totales. Así mismo, se establece que 1 μg de retinol es igual a 3.33 unidades internacionales (UI) de pro-vitamina A. Los resultados se expresaron en UI/100 g bh.

6.7.3 Contenido de compuestos bioactivos

Fenoles solubles totales (FST). La extracción de los FST se realizó de acuerdo a la técnica establecida por Pérez-Jiménez et al., (2008), con algunas modificaciones. Se pesó 3 g de muestra fresca y se adicionó 15 mL de solución metanólica acidificada, se sometió a extracción con un agitador orbital por 1 h, se centrifugó a 13000 rpm por 10 min para obtener el sobrenadante, al residuo restante se le añadió 10 mL de acetona y nuevamente se agitó. Se centrifugó y se recolectó el sobrenadante. Se mezclarán ambos extractos y se aforaron con la mezcla de las dos soluciones de extracción.

La cuantificación de los FST se realizó de acuerdo a la técnica establecida por Gollaz-Machuca, (2021) y Montreau (1972). Se tomó 12 μL del extracto y se agregó 12 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu, 116 μL de carbonato sódico y 164 μL de agua destilada. Posteriormente se agitó y se dejó reposar por 15 min. Transcurrido el tiempo, se leyeron las absorbancias mediante un lector de microplaca (modelo 800TS, Biotek, Winooski VT, USA) a 750 nm. La curva de calibración se realizó a partir de la solución patrón de ácido gálico. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra fresca (mg/100 g bh).

Polifenoles hidrolizables (PH). Esta técnica se realizó por el método descrito por Hartzfeld et al. (2002) con algunas modificaciones. Se utilizó los residuos secos de la extracción acuosa orgánica de los polifenoles, se adicionaron 2 mL de H_2SO_4 concentrado y 20 mL de metanol, se incubaron a 85°C por 20 h, se centrifugaron a 13000 rpm por 10 min y los sobrenadantes se recolectaron. El residuo se lavó dos veces más con 10 mL metanol y se centrifugó en cada lavado, se recolectaron los sobrenadantes y se aforaron con metanol. Por último, la cuantificación de polifenoles hidrolizables se realizó con el método colorimétrico Folin-Ciocalteu por microplaca a 750 nm, utilizando ácido gálico como patrón. Los resultados fueron expresados en mg/100 g bh.

Taninos condensados (TC). Esta técnica se realizó por el método de Reed et al., (2001) en la cual al residuo descartado de fenoles extraíbles se le adicionó 10 mL de solución butanol/HCl/FeCl₃. Se colocó en el baño a 100°C por 3 h y posteriormente se centrifugó a 13000 rpm por 10 min, el sobrenadante se extrajo y se colocó en un matraz aforado de 25 mL. Al residuo se le adicionó 10 mL de solución butanol/HCl/FeCl₃, se centrifugó y se recolectó el sobrenadante en el mismo matraz de aforo mencionado anteriormente, luego se ajustó el volumen a 25 mL, y las absorbancias se leyeron a 555 nm. Como patrón de taninos condensados se utilizó algarrobo (*Ceratonia siliqua*) bajo las mismas condiciones. Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de taninos condensados por 100 g de muestra fresca (mg/100 g bh).

Perfil de compuestos fenólicos. Se filtró 1 mL de extracto con filtros de 0.22 µm. Se inyectó 10 µL a un HPLC-DAD (Agilent Technologies 1260 Infinity, Waldbronn, Alemania) con columna de fase inversa Poroshell 120 EC-C18 (2.7 µ, 4.6 mm x 100 mm; Agilent Technologies, USA). Se utilizaron dos eluentes para el análisis, el eluyente A fue agua acidificada con ácido trifluoroacético al 0.1% y eluyente B acetonitrilo. Se aplicó una elución en gradiente: 100% A; 0-10 min, 90% A; 10-15 min, 80% A; 15-20 min, 75% A; 20-35 min, 65% A; 35-55 min, 25% A; 55-57 min, 0% A; 57-62 min, 35% A; 62-65 min, 65% A y 65-70 min, 100% A, a un caudal de 0.5 mL/min. Los fenólicos se detectaron a 270-320 nm (Aguilar-Hernández et al., 2019)

Carotenoides Totales (CT). El análisis se realizó siguiendo la metodología de Philip y Chen, (1988) y algunas modificaciones. Todo el proceso se llevó a cabo en oscuridad. A 2 g de muestra liofilizada se le añadió 0.5 g de MgCO₃ y 10 mL de solución de acetona: éter de petróleo (80:20). La solución se agitó a 1 min y se centrifugó la mezcla (20 min, 4 °C, 13000 rpm). Al precipitado se le añadió una solución de acetona: éter (80:20), se agitó y centrifugó de nuevo (esto se repitió hasta que el extracto quedó sin pigmentos amarillos). Los sobrenadantes se colectaron y se agregó 15 mL de NaCl (20%). Los sobrenadantes se colocaron en un embudo de separación, se agregó NaCl (20%), y se drenó la fase acuosa. El extracto fue colocado en Na₂SO₄ anhidro. Se midió la absorbancia en un espectrofotómetro a 448 nm. Los carotenoides totales, se reportaron como equivalentes de β-caroteno; por lo tanto, se realizó una curva patrón con este estándar. Los datos se reportaron como microgramos equivalentes de β-caroteno por 100 g de muestra fresca (µg/100 g bh).

6.7.4 Capacidad antioxidante (CAOX).

La medición de la CAOX se realizó al extracto soluble polifenólico y del contenido de carotenoides totales mediante dos métodos:

Poder antioxidante de reducción férrica (FRAP). Se realizó de acuerdo al método de Benzie y Strain (1996) con algunas modificaciones. En una microplaca se añadió 70 μL de extracto, 230 μL de la solución de FRAP y 5 μL de agua destilada. La mezcla se incubó a 37 °C con agitación por 30 min y después la absorbancia fue medida a 595 nm en el lector de microplacas (800TS, Biotek, Winooski VT, USA). Los resultados se expresaron como mmol/100 g bh.

Método 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH). La determinación se llevó a cabo con el método propuesto por Prior et al., (2005) con algunas modificaciones. El extracto (80 μL) se añadió a la microplaca y se mezclarán con 220 μL de radical DPPH. La mezcla se incubó a temperatura ambiente en la oscuridad durante 10 min. Después, se realizó la medición de la absorbancia a 517 nm en el lector de microplacas (800TS, Biotek, Winooski VT, USA). Los resultados se expresaron como mmol/100 g bh.

6.7.5 Toxicidad por el método de *Artemia salina*

El grado de toxicidad de la yaca mínimamente procesada con los diferentes tratamientos, se realizó utilizando el modelo de *Artemia salina* ya que es un método simple, rápido, confiable y de bajo costo (Kurniasih, Purwati y Dewi 2018). El cultivo de *A. salina* se llevó a cabo siguiendo lo recomendado por Barbosa et al., (2009) con modificaciones. En un frasco de 2 L de capacidad provisto con una resistencia para el control temperatura y una bomba de aireación, se añadió 1 L de solución salina a 25 ppm (sal de mar sin yodo) y 2.5 g de quistes de *A. salina*. Éstos se incubaron durante 30 h a 28 °C con un pH de 7.98. Transcurrido el tiempo de incubación, los huevecillos eclosionados fueron transferidos a un recipiente con capacidad de 20 L bajo las mismas condiciones de salinidad (25 ppm), temperatura (28 °C), aireación y pH. Durante los primeros 5 días de vida de las *A. salina* se alimentaron con una solución de 0.4 mg/ml de ácido docosahexaenoico (DHA-GOLD, Acua Biomar, Mazatlán, Sinaloa, México). La solución fue preparada con agua salada (25 ppm) a 28 °C. Los días posteriores (3 semanas más) se alimentaron con una solución de espirulina (66 mg/ml), preparada también con agua salada (25 ppm) a 28 °C.

La prueba de toxicidad se realizó con bulbos de yaca, de todos los tratamientos, y en el último día de almacenamiento, de acuerdo a Barbosa et al., (2009) con algunas modificaciones. En un tubo de ensayo con 10 mL de solución salina se colocaron 10 organismos de *A. salina* con 3 semanas de vida. Luego se añadió 500 µL de una solución de pulpa de yaca liofilizada preparada a diferentes concentraciones (100, 500, 600, 800, 1000 y 1500 mg/mL). Posteriormente, se incubaron a 28 °C durante 24 h, transcurrido el tiempo se contabilizó el número de organismos vivos y muertos (se consideraron como organismos muertos cuando no presentaron movimientos internos o externos durante 1 min de observación) y se procedió a determinar el porcentaje de supervivencia mediante la ecuación 1.

$$\text{Supervivencia (\%)} = [(\sum LVC - \sum LMT / \sum LVC)] * 100 \quad (1)$$

Donde LVC son larvas vivas del control y LMT son larvas muertas tratadas

6.7.6 Evaluación sensorial

Para la evaluación sensorial se usaron bulbos de yaca del control, QS, QS-TiO₂ y QS-TZM, al final del almacenamiento a 4 °C, respectivamente. Se consideraron estos debido a que es el tiempo de consumo determinado en la vida de anaquel para los bulbos de yaca mínimamente procesada. Antes de realizar la prueba sensorial los recubrimientos fueron eliminados de los bulbos.

Se realizó una prueba sensorial afectiva utilizando una escala hedónica no estructurada (Pedrero, 1989). La evaluación se llevó a cabo con 30 jueces no entrenados, los cuales evaluaron cuatro tratamientos en el día final de almacenamiento (CT, QS, QS-TiO₂, QS-TZM). El juez indicó mediante la escala de 12 puntos, su percepción en tres parámetros los cuales fueron olor, sabor y color, esta prueba permitió conocer si existe diferencia perceptible entre los tratamientos. Los datos fueron analizados con t-student para pruebas no paramétricas.

6.8 Análisis estadístico.

Los resultados se expresaron como la media ± desviación estándar. Las lecturas de los análisis se realizaron por triplicado. Se empleó un análisis de varianza ANOVA (p<0.05) y

prueba de medias Fisher LSD ($\alpha=0.05$) para comparación de medias. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa Statistica v.12 (Statsoft, Tulsa, Oklahoma, USA).

CAPÍTULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPITULO 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Parámetros fisicoquímicos

El cuadro 7.1 se presentan los parámetros fisicoquímicos de los bulbos de yaca mínimamente procesada con diferentes recubrimientos.

Cuadro 7.1 Sólidos solubles totales, pH, acidez titulable y color de yaca precortada sin y con recubrimientos de quitosano (QS), quitosano funcionalizado con TiO₂ (QS-TiO₂) y quitosano funcionalizado con TiO₂-ZnO-MgO (QS-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C.

Días de almacenamiento	Recubrimientos			
	Control (5 d)	QS (10 d)	QS-TiO ₂ (13 d)	QS-TZM (15 d)
Sólidos solubles totales (°Brix)				
1	23.16 ± 0.55 ^{a,X}	22.56 ± 0.56 ^{a,X}	22.96 ± 0.37 ^{a,X}	22.36 ± 0.45 ^{a,Y}
5	25.96 ± 0.58 ^{a,Y}	24.16 ± 0.35 ^{b,Y}	24.16 ± 0.15 ^{b,Y}	23.12 ± 0.05 ^{c,Y}
10		24.63 ± 1.35 ^{a,Y}	24.36 ± 0.35 ^{a,Y}	24.36 ± 0.25 ^{a,Y}
13			24.96 ± 0.40 ^Y	
15				24.90 ± 0.36 ^{a,X}
Acidez titulable (% ácido cítrico)				
1	0.34 ± 0.01 ^{a,X}	0.35 ± 0.01 ^{a,X}	0.34 ± 0.01 ^{a,X}	0.33 ± 0.02 ^{a,X}
5	0.38 ± 0.01 ^{a,Y}	0.35 ± 0.04 ^{a,X}	0.33 ± 0.01 ^{a,X}	0.33 ± 0.007 ^{b,X}
10		0.36 ± 0.01 ^{a,X}	0.40 ± 0.01 ^{a,Y}	0.34 ± 0.03 ^{a,X}
13			0.41 ± 0.02 ^Y	--
15				0.43 ± 0.02 ^Y
pH				
1	4.88 ± 0.01 ^{a,X}	4.87 ± 0.15 ^{a,X}	4.86 ± 0.01 ^{a,X}	4.89 ± 0.02 ^{a,X}
5	4.75 ± 0.04 ^{a,Y}	4.80 ± 0.01 ^{a,Y}	4.81 ± 0.01 ^{a,Y}	4.83 ± 0.01 ^{b,Y}
10		4.72 ± 0.01 ^{a,Z}	4.79 ± 0.02 ^{b,Y}	4.76 ± 0.01 ^{c,Z}
13			4.71 ± 0.02 ^Y	--
15				4.71 ± 0.04 ^W
Ángulo de tono (°Hue)				
1	57.34 ± 5.25 ^{a,X}	55.62 ± 3.14 ^{a,X}	56.65 ± 4.50 ^{a,X}	56.18 ± 4.37 ^{a,X}
5	62.4 ± 4.43 ^{a,X}	60.22 ± 1.87 ^{b,Y}	57.48 ± 3.62 ^{b,X}	58.28 ± 3.79 ^{b,X}
10		65.87 ± 2.52 ^{a,Z}	65.31 ± 1.55 ^{ab,Y}	66.97 ± 2.02 ^{b,Y}
13			65.72 ± 1.16 ^Y	--
15				65.99 ± 1.87 ^Y
Croma (C)				
1	26.28 ± 1.94 ^{a,X}	24.23 ± 4.33 ^{a,X}	24.25 ± 4.71 ^{a,X}	24 ± 2.99 ^{a,X}
5	23.6 ± 3.74 ^{a,X}	26.76 ± 1.10 ^{b,X}	26.55 ± 2.22 ^{ab,X}	26 ± 2.19 ^{ab,X}
10		47.09 ± 3.28 ^{a,Y}	48.93 ± 1.61 ^{a,Y}	46.56 ± 1.85 ^{a,Y}
13			49.01 ± 1.71 ^Y	--
15				48.73 ± 0.96 ^Y
Luminosidad (L)				
1	73.02 ± 2.60 ^{a,X}	70.94 ± 3.24 ^{a,X}	71.39 ± 5.20 ^{a,X}	71.58 ± 3.29 ^{a,X}
5	65.5 ± 5.65 ^{a,Y}	71.62 ± 1.54 ^{b,X}	71.35 ± 1.24 ^{b,X}	71.48 ± 3.20 ^{b,X}
10		68.83 ± 4.62 ^{a,X}	71.34 ± 2.97 ^{a,X}	71.17 ± 1.70 ^{a,X}
13			70.25 ± 3.57 ^X	--
15				70.33 ± 3.13 ^X

Los valores son la media ± desviación estándar (n=4). Letras minúsculas por fila indican diferencias estadísticas significativas (p<0.05) entre tratamientos. Letras mayúsculas por columna indican diferencias estadísticas (p<0.05) entre días de almacenamiento.

7.1.1 Sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), pH y color

Hubo efecto significativo ($p < 0.05$) por los días de almacenamiento en los parámetros fisicoquímicos de los bulbos de yaca. El contenido SST y la AT aumentaron ligeramente durante el tiempo de almacenamiento de los bulbos, en todos los tratamientos; mientras que el pH disminuyó (Cuadro 7.1). Por otra parte, el color de los bulbos también cambió significativamente ($p < 0.05$), éstos fueron de color naranja tenue (55.62-57.34 °Hue) al inicio del experimento, hasta un naranja más intenso en este orden: bulbos control y bulbos recubiertos con QS (°Hue de 62.43-65.87) > bulbos recubiertos con QS-TiO₂ y QS-TZM (65.72-65.99), cuando terminó el almacenamiento como se puede observar en la Figura 7.1. Esto coincidió con la evolución del croma, lo cual indicó una mayor saturación del color al final del almacenamiento; mientras que la luminosidad disminuyó en los bulbos control, pero permaneció estadísticamente constante ($p > 0.05$) en los bulbos recubiertos. Los SST reportados para pulpa madura de yaca “Aguitada” es de 25-29 °Brix (Montalvo-González et al., 2021; Morelos-Flores et al., 2021). En este experimento se encontró menor contenido de SST porque los frutos, aunque fueron cortados maduros, no tenían una madurez avanzada. El incremento en los SST, es atribuido a la degradación de almidón y otros carbohidratos como pectinas, celulasas y hemicelulasas, lo cual genera el aumento de azúcares solubles (Burns y Echeverría, 1990; Ulloa et al., 2010). Por otra parte, el incremento de la AT y por ende la disminución del pH, probablemente se debe a que existe una síntesis de ácidos orgánicos característico del genotipo, el cual va de 0.17% a 0.55% y pH de 5.88 a 4.99 (Morelos-Flores et al., 2021). No obstante, la AT es mayor y el pH menor, en frutas mínimamente procesadas que son tratadas con ácido cítrico (Navindra et al., 2009). El desarrollo de color naranja mayormente intenso, se debe a la síntesis de carotenoides (Morelos-Flores et al., 2021).

También se observó efecto significativo ($p < 0.05$) de los recubrimientos. En todos los bulbos de yaca recubiertos, se observó que se retrasaron los cambios de los parámetros fisicoquímicos comparado con los bulbos control. Sin embargo, dependió del tipo de recubrimiento, ya que los bulbos de yaca tratados con el recubrimiento QS-TZM, retrasaron por más días (15 días) los parámetros fisicoquímicos. Los recubrimientos a base de quitosano son una barrera que reducen la velocidad de respiración y producción de etileno, al disminuir la permeabilidad a los gases CO₂, O₂ y vapor de agua. Esto causa que los cambios de

maduración de frutos precortados, entre ellos los parámetros fisicoquímicos, se mantengan o retrasen y aumente la vida de anaquel (Kumarihami et al., 2021;2022).

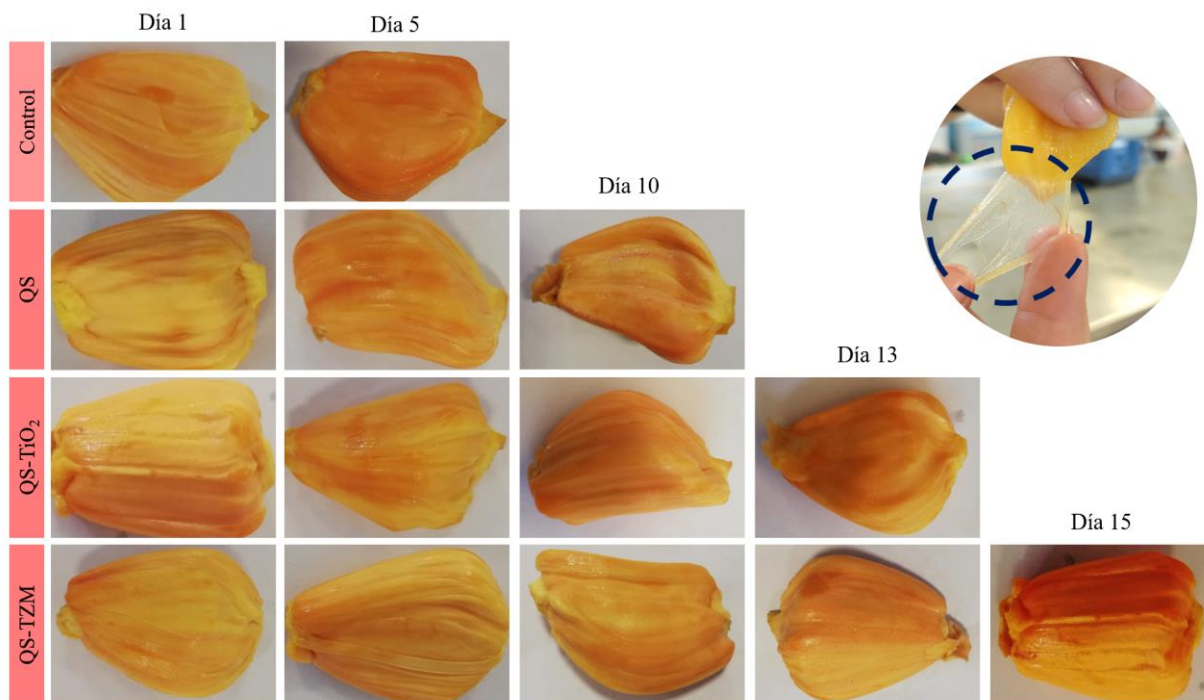


Figura 7.1. Aspecto físico de los bulbos de yaca mínimamente procesada sin recubrimiento (control), con recubrimientos de quitosano (QS) y recubrimiento de quitosano funcionalizado con TiO_2 (QS- TiO_2) y funcionalizado con TiO_2 -ZnO-MgO (QS-TZM).

En este experimento se observó que la vida útil de los bulbos de yaca dependió de la funcionalización o no del quitosano. Se ha reportado que los recubrimientos con QS, retrasan los cambios de SST, AT, pH y color en manzana precortada (Vivek y Subbarao, 2018); sin embargo, Qiao et al. (2019), mencionan que el retraso de esos mismos parámetros fue mayor (2-3 días más) en melón precortado, cuando el quitosano fue funcionalizado con TiO_2 . La funcionalización del QS con TZM reduce mayormente el coeficiente de transferencia de CO_2 , O_2 y vapor de agua, debido a que su estructura química es más estable y esto le permite no degradarse durante el almacenamiento, cosa que sí ocurrió con los demás recubrimientos; esto fue reportado por Anaya-Esparza et al., (2021, 2022). Por lo tanto, este recubrimiento

pudo retrasar los cambios fisiológicos y fisicoquímicos del fruto precortado. Esta menor permeabilidad al O₂, causó probablemente una mayor disminución en la actividad de la enzima ACC oxidasa, el cual requiere de O₂ para producir de etileno (Azcon-Bieto et al., 2008). Al haber menor producción de etileno, la maduración se retrasa ya que el etileno es una hormona que regula diferentes rutas bioquímicas de la maduración; entre esas rutas metabólicas se encuentra el retraso en la hidrólisis de polisacáridos, síntesis de ácidos orgánicos y carotenoides (Azcon-Bieton et al, 2008), que está relacionado directamente en los cambios de SST, AT, pH y color.

7.1.2 Firmeza

La firmeza de los bulbos de yaca se vio afectada significativamente ($p < 0.05$) por los días de almacenamiento y recubrimientos (Figura 7.2). Los bulbos iniciaron con una firmeza 10.62-11.24 N, y ésta disminuyó en todos los tratamientos al final del almacenamiento, aunque la disminución de la firmeza de los bulbos dependió del tipo de recubrimiento. Los bulbos control tuvieron una pérdida de firmeza del 49% (día 5), los recubiertos con QS del 48% (día 10), los recubiertos con QS-TiO₂ del 46% (día 13) y los recubiertos por QS-TZM solo del 28% (día 15).

Los bulbos fueron pre-tratados con cloruro de calcio (al 0.1%) y esto pudo ayudar a que la firmeza de los bulbos se mantuviera en rangos de 5-6 N, a diferencia de lo reportado por Morelos-Flores et al., (2021) en bulbos de yaca (4.91 N). La aplicación de CaCl a frutos precortados causa la formación de pectatos de calcio, al unirse el Ca⁺ a pectinas presentes en la pared celular, dándole mayor rigidez a las células externas del fruto precortado (Salazar y Gamboa, 2013) Sin embargo, debido a que el proceso de maduración interna no se detiene, la pérdida de la firmeza se lleva a cabo por la degradación de la pared celular causada por enzimas tales como celulasas, hemicelulasas, poligalacturonasas y pectinasas (Guerreiro et al. 2015; Soliva-Fortuny, Oms-Oliu y Martín-Belloso 2002).

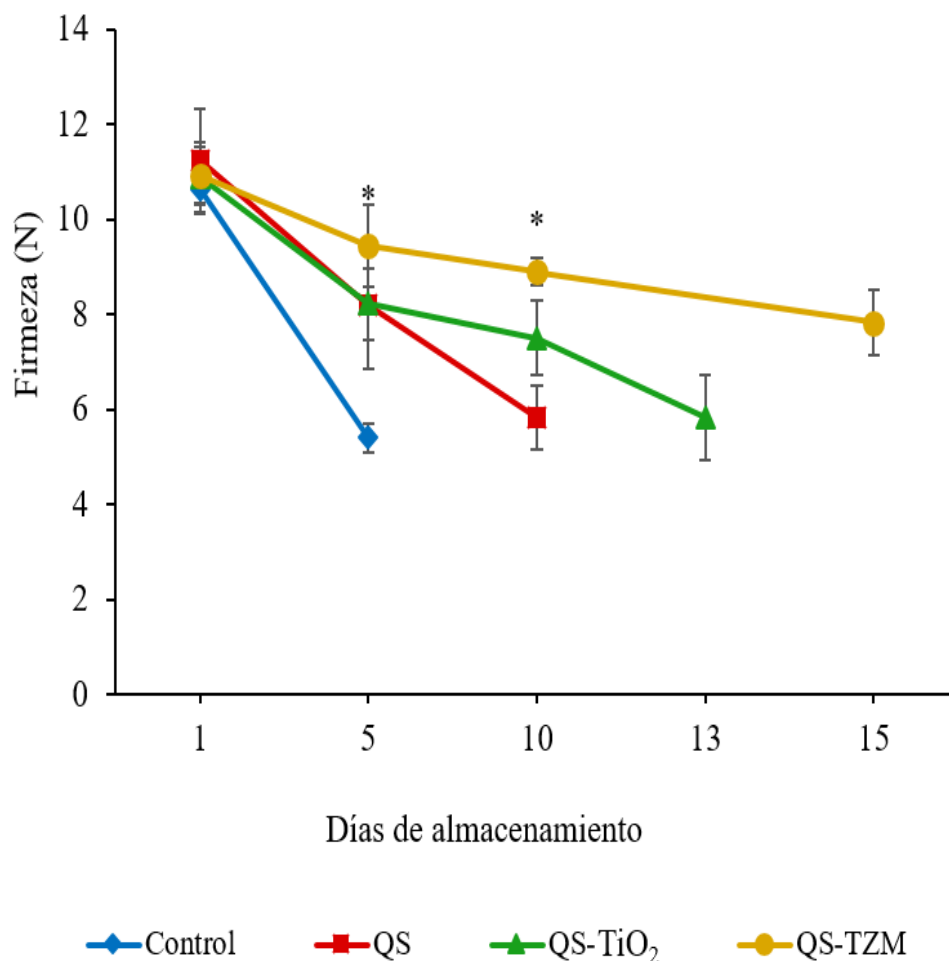


Figura 7.2 Firmeza de yaca precortada sin (control), con recubrimientos de quitosano (QS), quitosano funcionalizado con TiO₂ (QS-TiO₂), y quitosano funcionalizado con TiO₂-ZnO-MgO (QS-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C.

No obstante, los recubrimientos retrasaron la pérdida de firmeza de la yaca precortada, siendo el recubrimiento QS-TZM el que mantuvo por más tiempo y con mayor firmeza los bulbos de yaca. Como se mencionó anteriormente, este recubrimiento puede ser una barrera más efectiva para disminuir la producción de etileno, que los otros recubrimientos y esta fitohormona también regula la pérdida de la firmeza, al controlar la síntesis de enzimas que degradan la pared celular (Xu et al., 2021).

7.2 Caracterización nutricional

La composición nutricional de los diferentes tratamientos con o sin recubrimiento en bulbos de yaca precortada y almacenada en refrigeración a 4°C se muestra en el Cuadro 7.2.

Cuadro 7.2 Composición nutricional de yaca precortada fresca sin o con recubrimientos de quitosano (QS), quitosano funcionalizado con TiO₂ (QS-TiO₂) y quitosano funcionalizado con TiO₂-ZnO-MgO (QS-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C.

Almacenamiento	Control (5 d)	QS (10 d)	QS-TiO ₂ (13 d)	QS-TZM (15 d)
		Humedad (g/100 g bh)		
Inicial	76.24 ± 0.80 ^{a,X}	77.03 ± 0.04 ^{b,X}	75.44 ± 0.16 ^{c,X}	76.26 ± 0.18 ^{ab,X}
Final	75.06 ± 0.77 ^{a,Y}	75.98 ± 0.43 ^{a,Y}	74.62 ± 0.27 ^{b,Y}	75.56 ± 0.10 ^{ab,Y}
		Carbohidratos (g/100 g bh)		
Inicial	21.40 ± 0.56 ^{a,X}	20.80 ± 0.05 ^{a,X}	21.26 ± 0.01 ^{a,X}	21.31 ± 0.25 ^{a,X}
Final	23.46 ± 0.46 ^{a,Y}	22.49 ± 0.38 ^{a,Y}	23.50 ± 0.11 ^{a,Y}	23.10 ± 0.16 ^{a,Y}
		Proteína total (g/100 g bh)		
Inicial	1.31 ± 0.32 ^{a,X}	1.40 ± 0.14 ^{a,X}	1.33 ± 0.10 ^{a,X}	1.40 ± 0.08 ^{a,X}
Final	1.41 ± 0.20 ^{a,X}	1.51 ± 0.04 ^{a,X}	1.52 ± 0.07 ^{a,X}	1.47 ± 0.03 ^{a,X}
		Lípidos totales (g/100 g bh)		
Inicial	0.13 ± 0.01 ^{a,X}	0.14 ± 0.01 ^{a,X}	0.14 ± 0.01 ^{a,X}	0.15 ± 0.03 ^{a,X}
Final	0.16 ± 0.02 ^{a,Y}	0.19 ± 0.01 ^{a,Y}	0.22 ± 0.04 ^{ab,Y}	0.39 ± 0.02 ^{c,Y}
		Cenizas (g/100 g bh)		
Inicial	0.66 ± 0.01 ^{a,X}	0.66 ± 0.01 ^{a,X}	0.72 ± 0.02 ^{b,X}	0.78 ± 0.04 ^{c,X}
Final	0.63 ± 0.01 ^{a,Y}	0.63 ± 0.02 ^{a,X}	0.70 ± 0.02 ^{a,X}	0.73 ± 0.09 ^{a,X}
		Fibra dietética (g/100 g bh)		
Inicial	3.08 ± 0.26 ^{a,X}	3.07 ± 0.49 ^{a,X}	3.04 ± 0.14 ^{a,X}	3.24 ± 0.44 ^{a,X}
Final	2.54 ± 0.47 ^{a,X}	2.75 ± 0.30 ^{a,X}	2.62 ± 0.35 ^{a,X}	2.91 ± 0.36 ^{a,X}
		Vitamina A (UI/100 g bh)		
Inicial	97.83 ± 0.52 ^{a,X}	97.12 ± 0.78 ^{a,X}	98.42 ± 0.75 ^{a,X}	97.48 ± 0.38 ^{a,X}
Final	116.56 ± 4.95 ^{a,Y}	114.70 ± 1.13 ^{a,Y}	117.99 ± 1.54 ^{b,Y}	136.00 ± 0.49 ^{c,Y}
		Vitamina E (mg/100 g bh)		
Inicial	1.62 ± 0.04 ^{a,X}	1.59 ± 0.05 ^{a,X}	1.68 ± 0.05 ^{a,X}	1.59 ± 0.02 ^{a,X}
Final	1.51 ± 0.01 ^{a,Y}	2.03 ± 0.01 ^{b,Y}	2.06 ± 0.03 ^{b,Y}	2.04 ± 0.02 ^{b,Y}
		Vitamina C (mg/100 g bh)		
Inicial	27.84 ± 0.14 ^{a,X}	27.26 ± 1.53 ^{a,X}	28.13 ± 1.12 ^{a,X}	28.53 ± 1.37 ^{a,X}
Final	21.87 ± 0.30 ^{b,Y}	25.26 ± 0.22 ^{b,X}	27.63 ± 0.05 ^{a,X}	28.27 ± 1.32 ^{a,X}

Los valores son la media ± desviación estándar (n=4). Letras minúsculas indican diferencias estadísticas significativas (p<0.05) entre tratamientos en el mismo día de almacenamiento. Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas (p<0.05) entre el día inicial y final de almacenamiento por tratamiento

La humedad de los bulbos disminuyó al término del almacenamiento, siendo mayor la pérdida de humedad para los bulbos control (1.54%), seguida de bulbos recubiertos con QS (1.36%), bulbos recubiertos con QS-TiO₂ (1.08%) y finalmente, bulbos recubiertos con QS-TZM (0.91%). A pesar de la ligera disminución, los valores de humedad (74.62-75.76%) se encontraron dentro de lo reportado en la literatura para bulbos de yaca maduros (Chandra y Bharati, 2020; Shafiq et al., 2017). La pérdida de humedad de los bulbos de yaca coincidió con la pérdida fisiológica de peso que reportó Anaya-Esparza (2021) y está asociada a la transpiración, causada por velocidad de respiración y por cambios en la humedad relativa donde se encuentran almacenados (Kaewklin et al., 2018). Sin embargo, el recubrimiento QS-TZM causó una menor deshidratación en los bulbos de yaca que los otros recubrimientos, y esto se explica porque el recubrimiento mencionado, tuvo valores de permeabilidad del vapor de agua menores en comparación con el recubrimiento QS y QS-TiO₂ (Anaya-Esparza, 2021). Además, la presencia de los óxidos mixtos en el quitosano le proporciona mayor estabilidad, ya que los compuestos del recubrimiento interactúan químicamente con el agua formando puentes de hidrogeno provocando un decremento al paso de las moléculas de agua a través del recubrimiento (Habiba et al., 2016).

Se incrementó de 1.69-2.24 g/100 g de carbohidratos solubles de los bulbos desde el día inicial de almacenamiento hasta el último día en todos los tratamientos, coincidió con el aumento de los SST. Como ya se ha mencionado, esto se debe a que hay una producción de azúcares simples (glucosa, fructosa y sacarosa) en la maduración de yaca por la hidrólisis de polisacáridos (Azizur-Rahman et al., 1999). Por otro lado, no se encontró efecto significativo ($p > 0.05$) de los tratamientos en el contenido de carbohidratos solubles al término del experimento, lo cual indica que el estado de madurez de los bulbos es el mismo, al término de la vida de anaquel de cada tratamiento.

No hubo efecto significativo ($p > 0.05$) ni del tiempo de almacenamiento ni del tratamiento en el contenido total de proteínas. Sin embargo, hay una tendencia a aumentar, ya que al inicio del almacenamiento los valores oscilaron entre 1.31-1.40 g/100 g bh y al final del almacenamiento fueron de 1.41-1.52 g/100 g bh. Los valores de proteína se encuentran en el rango reportado para pulpa de yaca madura de 0.38-1.0 g/100 g bh (Chandra y Bharati, 2020; Goswami et al., 2015). Las proteínas de los frutos frescos se encuentra constituido principalmente por enzimas y la concentración proteica incrementa durante la maduración

debido a la síntesis de enzimas que interfieren en las reacciones metabólicas para que los frutos maduren (Astisaran y Martínez, 2002). En este experimento, no se vio un aumento significativo de las proteínas en los bulbos de yaca, probablemente porque el fruto se encontraba en la madurez de consumo; aunque, en los bulbos con el recubrimiento QS-TZM tiene una tendencia a aumentar más lentamente las proteínas.

Los lípidos totales de los bulbos de yaca control y recubiertos, exhibieron un ligero aumento ($p < 0.05$) durante el tiempo de almacenamiento. Los valores iniciales fueron de 0.13-0.15 mg/100 g bh hasta 0.16-0.39 mg/100 g bh. Shafiq et al. (2017) reportaron un contenido de lípidos de 0.45 g/100 g bh en bulbos de yaca madura; mientras que Chandra y Bharati (2020) observó un contenido de 0.49 g/100g bh en el mismo fruto. Los datos obtenidos con este experimento son valores ligeramente menores; es posible que se deba a que a la diferencia en los genotipos y estados de madurez en los que se hizo el análisis. Los lípidos cuantificables en frutas frescas son principalmente fosfolípidos, algunos ácidos grasos y carotenoides; sin embargo, el aumento de los lípidos en frutas se atribuye principalmente a la síntesis de carotenoides porque se encuentran en mayor concentración (Kader, 2002) y esto coincidió con el aumento de los valores de °Hue.

Aunque hubo un ligero aumento de compuestos lípidos al final del almacenamiento, el contenido dependió si los bulbos eran recubiertos o no. Los bulbos control y recubiertos con QS tuvieron menor contenido de lípidos (0.16 y 0.19 g/100 g bh), seguido de los bulbos con QS-TiO₂ (0.22 g/100 g bh) y finalmente los bulbos recubiertos con QS-TZM (0.39 g/100 g bh). Estos resultados están relacionados con el efecto de los recubrimientos en la maduración, sobre todo en el cambio de color y firmeza. Aunque hubo mayor cambio de color naranja en los bulbos control y recubiertos con QS, estos bulbos perdieron más rápidamente firmeza lo cual indica que pudo existir una degradación de la pared celular y, por lo tanto, una posible oxidación tanto de lípidos de membranas celulares, incluyendo los carotenoides (Gutiérrez et al., 2005). En cambio, los recubrimientos funcionalizados, además de retrasar la síntesis de compuestos lipídicos como los carotenoides por la posible disminución de la producción de etileno regulando la síntesis de enzimas (fitoeno sintasa y fitoeno desaturasa) (Marty et al., 2005), mantuvieron por más tiempo la firmeza de los bulbos y protegieron de la oxidación a los compuestos lipídicos (Kader, 2002).

Los valores de ceniza (0.8% bh) se encuentran dentro de lo reportados en la literatura para bulbos de yaca fresca (USDA 2018). Shafiq et al. (2017) y Chandra y Bharati (2020) reportan en yaca fresca fue de 0.54% y 0.71%, respectivamente. No hubo diferencias significativas ($p>0.05$) en el contenido de cenizas medido al inicio y final del almacenamiento, aunque se observa una tendencia a disminuir. Los minerales son usados como cofactores por diferentes enzimas que intervienen en la maduración y puede existir disminución por su uso en diferentes rutas metabólicas (Knee, 2002). Por otro lado, hubo efecto ($p<0.05$) de los recubrimientos en el contenido de cenizas, los bulbos recubiertos con QS-TiO₂ y QS-TZM presentaron el mayor contenido de cenizas desde del inicio y hasta el final del experimento. Este suceso puede ser explicado por la presencia de TiO₂ en el recubrimiento QS y por TiO₂ más minerales (Mg y Zn) en los recubiertos con QS-TZM (Anaya-Esparza et al., 2021).

Los valores promedio de la FD iniciales fueron de 3.08-3.24 g/100 g bh y al último día de análisis de 2.54-2.91 mg/100 g bh. Amadi et al. (2018) encontró concentraciones menores de FD para pulpa de yaca madura (1.5 g/100 g). Por lo tanto, el genotipo evaluado en este estudio es más rico en FD. Sin embargo, estadísticamente no hubo efecto ($p>0.05$) ni por efecto del tiempo de almacenamiento ni por efecto de los recubrimientos, aunque si se observa una tendencia de disminución de la FD al final del almacenamiento y los bulbos recubiertos con QS-TZM, tuvieron los valores promedios de FD mayores. Esta tendencia de la FD, concuerda con la pérdida de firmeza en los bulbos de yaca de cada tratamiento, a menor firmeza mayor fue la degradación de la pared celular que incluye degradación de pectinas (fibra soluble) y degradación de celulosa y hemicelulosa (fibra insoluble) (El-Zoghbi, 1994; Defilippi et al. 2018) y viceversa. Estudios realizados anteriormente sugieren que el quitosano puede conducir a una atmósfera modificada en la superficie de la fruta que disminuye el proceso de degradación de las pectinas (He et al., 2018; Khaliq et al., 2016; Vivek y Subbarao, 2018). El tratamiento con quitosano en frutos de kiwi suprimió la expresión de genes que participan en la modificación de la pared celular durante la maduración del fruto (Kumarihami et al. 2021).

En el contenido de vitamina A, al inicio de almacenamiento, no se observó un efecto estadísticamente significativo ($p>0.05$) por los tratamientos. Los valores promedio iniciales de vitamina A fueron de 97.12-98.42 UI; sin embargo, al finalizar el almacenamiento de todos los tratamientos, se observó un incremento significativo ($p<0.05$) de este parámetro,

siendo mayor el contenido de vitamina A en los bulbos tratados con QS-TZM, concediendo con la evolución del color. Se ha reportado que la yaca tiene desde 30 UI hasta 175-540 IU de vitamina A por cada 100 g de porción comestible de frutos maduros (Goswami y Chacrabati 2015). Chandrika et al. (2005) reportan un contenido de 42.52 UI de vitamina A en pulpa madura y fresca de yaca. Por lo tanto, los valores de vitamina A reportados en este experimento, se encuentran dentro de lo reportado en la literatura para yaca fresca madura. El incremento del contenido de vitamina A durante el almacenamiento se debe a la síntesis de carotenoides, ya que, aunque los bulbos sean un producto pre-cortado, siguieron su proceso de maduración (Vargas-Torres et al., 2017).

Tampoco hubo efecto significativo ($p>0.05$) de los tratamientos, en el contenido de vitamina E al inicio del almacenamiento, pero si hubo un aumento al final de almacenamiento, oscilando el contenido promedio de 2.03-2.06 mg/100 g bh sin efecto significativo por los recubrimientos ($p>0.05$); excepto para los bulbos control ya que hubo una disminución de la vitamina E. La conservación de estas vitaminas en los bulbos tratados con recubrimientos, se debe a la protección de éstas ante la oxidación, ya que existe una mayor disminución en la permeabilidad del O_2 , los recubrimientos a su vez, retrasaron la síntesis de compuestos lipofílicos como los carotenoides que son precursores de la vitamina A y vitamina E (Marty et al. 2005). Estos resultados coinciden con las concentraciones de lípidos obtenidos en estos tratamientos.

El contenido promedio inicial de la vitamina C en los bulbos sin y con recubrimientos fue de 27.26-28.53 mg/100 g bh. La concentración encontrada en este trabajo, es superior a las reportadas en el mismo fruto por autores como Amadi et al., (2018) y la USDA (2018) quienes encontraron un contenido de vitamina C de 2.10-13.70 mg/100 g bh.

Durante el almacenamiento, los bulbos control exhibieron una disminución de la vitamina C del 21%, mientras que en los bulbos recubiertos con QS-TZM la pérdida fue de 7%. No obstante, los bulbos recubiertos con QS-TiO₂ y QS-TZM conservaron el contenido de vitamina C hasta el final del almacenamiento. La pérdida de vitamina C en los bulbos control y con QS se atribuye a su oxidación normal durante el proceso de maduración (Kader, 2002), aunque el recubrimiento de QS disminuyó la pérdida de esta vitamina. Un estudio realizado por Vivek y Subbarao (2018) encontraron que el recubrimiento de quitosano al 1%

disminuyeron significativamente la pérdida de la vitamina C en kiwis mínimamente procesados almacenadas a bajas temperaturas (5°C). Por otro lado, el efecto de los recubrimientos QS-TiO₂ y QS-TMZ en conservación de la vitamina C, como ya se ha mencionado anteriormente, está relacionado con su mayor capacidad de disminución en la permeabilidad del O₂, la tasa de respiración y por consecuencia la reducción en la oxidación de la vitamina C (Kraśniewska et al. 2017). Los resultados coinciden con lo reportado por Rokayya et al. (2021), quienes encontraron que el mayor contenido de vitamina C en los arándanos fueron los recubiertos con QS-dioxido de nanotitanio en comparación a los recubiertos solo con QS.

En general, de acuerdo a los datos obtenidos en la caracterización nutricional en los bulbos de yaca recubiertos con QS-TZM fueron los que conservaron los macros y micro nutrientes, por más tiempo.

7.3 Contenido de compuestos bioactivos

7.3.1 Compuestos fenólicos (CF)

La Figura. 7.2 (A) muestra que los FST aumentaron durante el almacenamiento en los bulbos de yaca. Se encontraron valores máximos al término del experimento con 20 mg/100 g bh (5 días) en bulbos control, 23.56 mg/100 g bh (10 días) en bulbos con QS, 26.78 mg/100 g bh (13 días) en bulbos QS-TiO₂, y 31.31 mg/100 g bh (15 días). Los datos son similares con los fenoles solubles reportados para pulpa de yaca madura (20.33-46 mg/100 g bh) (Shafiq et al. 2017; Saxena et al., 2009). Vargas-Torres et al. (2017) encontraron un comportamiento similar de los FST en bulbos de yaca durante el almacenamiento, concluyendo que la síntesis de CF se lleva a cabo porque son antioxidantes que juegan un papel importante en el mecanismo de protección de los frutos y se sintetizan durante condiciones de estrés.

Se puede discutir también que los bulbos recubiertos, sintetizaron el mayor contenido de CF. Esto se puede deber a que, el quitosano es un inductor del sistema de defensa cuando se aplica a frutas y éste puede inducir el metabolismo fenólico, ya que se ha reportado que con la aplicación de QS en frutos aumenta la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), enzima reguladora de la vía fenilpropanoide (Chen et al., 2004; Ramos-Guerrero et al., 2018).

Xing et al. (2020b) aplicaron QS-TiO₂ en mango y Liu et al (2021) aplicaron QS-TiO₂ en manzanas, concluyendo que los recubrimientos con quitosano aun funcionalizados, pueden inducir la síntesis de CF, además de disminuir la actividad de la enzima polifenoloxidasasa por ser una barrera de O₂, lo que conlleva a conservar los CF. Por lo que es posible que también el QS-TZM induzca el sistema de defensa, induciendo la síntesis de CF, además de protegerlos mayormente de su oxidación.

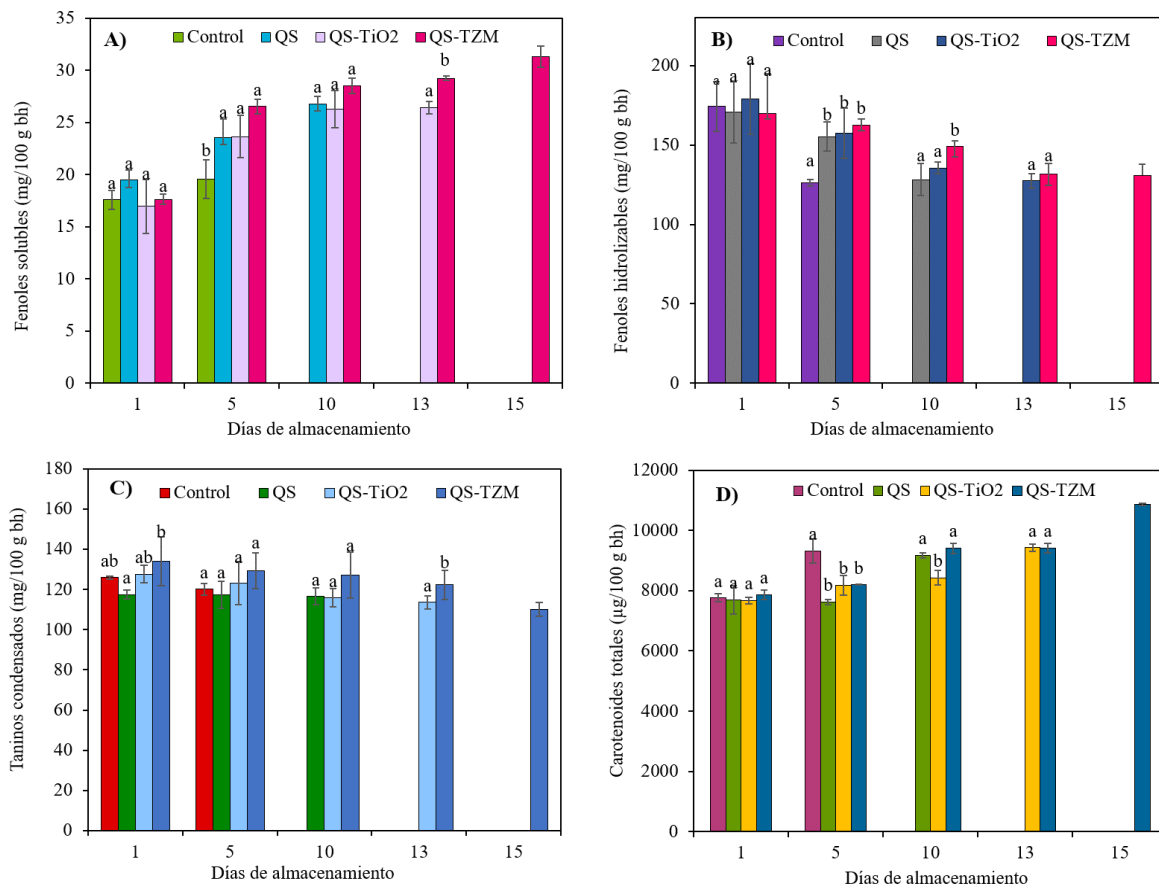


Figura 7.3 Evolución del contenido de fenoles solubles (A), fenoles hidrolizables (B), taninos condensados (C) y carotenoides totales (D) en bulbos de yaca sin (control) y con recubrimiento de quitosano, quitosano funcionalizado con TiO₂ (Quitosano-TiO₂) y quitosano funcionalizado con TiO₂-ZnO-MgO (Quitosano-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C. Letras minúsculas indican diferencias estadísticas significativas (p<0.05) entre tratamientos.

En la Figura 7.3 (B) se observa, que los bulbos de yaca inicialmente tuvieron PH de 169.68-178.93 mg/100 g bh, pero disminuyeron a través del tiempo de almacenamiento, llegando a valores promedio finales de 126.12-130.97 mg/100 g en todos los tratamientos. Zhang et al. (2021) reportan 6.4 mg/g bs (~177 mg/100 g bh) de polifenoles no extraíbles de pulpa de yaca madura, coincidiendo con lo reportado en este trabajo. Además, se observó que la disminución de los PH fue más rápida para los bulbos control, seguida de los bulbos recubiertos con QS y QS-TiO₂ y finalmente los recubiertos con QS-TZM. Los valores de PH (galotaninos y elagitaninos) son CF no extraíbles que se encuentran enlazados con los polisacáridos que conforman las paredes celulares de las células vegetales (Liu et al., 2020). Por lo tanto, la disminución de los PH se relaciona con la pérdida de firmeza, ya que, al existir degradación enzimática de la pared celular, los polifenoles unidos a ella son liberados y por fueron cuantificados en menor proporción, en el residuo fibroso.

Por otra parte, los TC (proantocianidinas) tuvieron cambios significativos importantes durante el almacenamiento e independientemente del recubrimiento (Fig 7.4B), aunque si se observó una ligera tendencia a disminuir. Los TC son CF sintetizados por los vegetales como mecanismos de defensa, y son altamente resistentes a degradarse; sin embargo, si la pared celular se degrada, éstos pueden quedar expuestos y oxidarse (Paredes-Salido y Clemente-Fernández, 2005). Se ha observado que durante la maduración se produce una pérdida en la astringencia de las frutas, esto está asociado principalmente a la disminución en el contenido de taninos (Bindon, Smith y Kennedy 2010; Ferrer-Gallego et al. 2010).

7.3.2 Carotenoides totales (CT)

Al inicio del almacenamiento se puede observar en la Fig. 7.2 (D) un contenido promedio de 7665.71-7866.90 µg/100 g bh sin diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos. El contenido de CT en los bulbos de yaca aumentó durante el almacenamiento (Fig. 7.2D). Para el día 5, los frutos control presentaron el mayor contenido de CT debido a que los bulbos maduraron más rápidamente. Se discute que el incremento acelerado de CT en los bulbos control, puede ser porque no hay una barrera que impida el paso del O₂, por lo tanto seguramente hay mayor producción etileno, ya que esta hormona regula su biosíntesis durante la maduración mediante la expresión de los genes PSY y PDS (Marty et al. 2005). Anaya-Esparza (2021) reportó que los bulbos de yaca sin recubrimiento presentan una

acelerada tasa de respiración comparado con aquellos que están recubiertos con QS, QS-TiO₂ y QS-TZM.

Respecto a los bulbos recubiertos, éstos retrasaron el aumento de CT y este dependió de su vida de anaquel; aunque los bulbos tratados con QS-TZM sintetizaron mayor contenido de CT (10868 µg/100 g bh) al final de su almacenamiento. Jagadeesh et al. (2007) reportaron un contenido de carotenoides de 363-879 µg/100 g de yaca madura, mientras que Morelos-Flores et al. (2021) encontraron un contenido de CT de 8902.30 µg/100 g bh en el mismo fruto. Se ha reportado que en la yaca que existen alrededor de catorce carotenoides, entre los principales son β-caroteno, α-caroteno, luteína, neoxantina, zeaxantina, β-criptoxantina, luteoxantina, violaxantina, anteraxantina y luteoxantina (Faria et al. 2009). Es importante mencionar que a pesar que los carotenoides han sido ampliamente estudiados en diferentes fuentes alimentarias este es el primer estudio donde se evaluó el efecto de la aplicación de un recubrimiento híbrido de QS-TZM, por lo que no existen referencias de comparación. Sin embargo, se puede inferir como ya se ha discutido anteriormente, el recubrimiento QS-TZM retrasó los procesos bioquímicos de maduración por su efecto de barrera a gases, causando una síntesis más lenta de carotenoides (Marty et al., 2005), aunque a los 15 días de almacenamiento se alcanza un contenido de CT similar a bulbos de yaca en madurez de consumo, ya reportado (Morelos-Flores et al., 2021).

7.3.3 Perfil de compuestos fenólicos (CF)

Se identificaron 17 compuestos fenólicos: 14 ácidos fenólicos y 3 flavonoides (Cuadro 7.3). Los días de almacenamiento tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$). El ácido shikímico disminuyó en los bulbos de yaca al final del almacenamiento en todos los tratamientos. Esta disminución se debe a que éste es el principal compuesto precursor de la síntesis de los diferentes ácidos fenólicos, también conocida como ruta del shikimato (Dewick, 2002). En contraste, todos los ácidos hidroxicinámicos aumentaron al final del almacenamiento, al igual que los flavonoides y la mayoría de los ácidos hidroxibenzoicos (excepto el ácido 2-hidroxibenzoico y ácido 4-hidroxibenzoico).

Cuadro 7.3 Perfil de compuestos fenólicos de yaca mínimamente procesada sin y con recubrimiento de quitosano, quitosano funcionalizado con TiO₂ y quitosano funcionalizado con TiO₂-ZnO-MgO, durante el almacenamiento a 4 °C.

No	Compuesto fenólico	Día*	Tratamiento (µg/100g bh)			
			Control	QS	QS-TiO ₂	QS-TZM
1	Ácido shikímico	Inicial	165844.63 ± 27.88 ^{a,X}	182596.75 ± 18.97 ^{b,X}	212378.74 ± 36.20 ^{c,X}	270557.61 ± 31.26 ^{d,X}
		Final	155696.36 ± 26.28 ^{a,Y}	163309.33 ± 38.28 ^{b,Y}	187511.79 ± 18.98 ^{c,Y}	246601.64 ± 5.21 ^{d,Y}
Ácidos hidroxibenzoicos						
2	Ácido gálico	Inicial	219.13 ± 9.91 ^{a,X}	201.76 ± 1.57 ^{b,X}	142.15 ± 5.21 ^{c,X}	170.30 ± 1.05 ^{d,X}
		Final	369.79 ± 8.20 ^{b,Y}	236.99 ± 8.86 ^{a,Y}	230.45 ± 18.29 ^{a,Y}	230.01 ± 4.50 ^{a,Y}
3	Ácido protocatéico	Inicial	31.64 ± 0.38 ^{a,X}	30.01 ± 1.48 ^{a,X}	30.01 ± 1.08 ^{a,X}	45.37 ± 0.35 ^{b,X}
		Final	47.46 ± 1.15 ^{a,Y}	34.18 ± 0.63 ^{b,Y}	68.40 ± 2.94 ^{c,Y}	79.13 ± 0.93 ^{d,Y}
4	Ácido 2-hidroxibenzoico	Inicial	21.41 ± 0.11 ^{ab,X}	21.34 ± 0.06 ^{ab,X}	21.25 ± 0.42 ^{a,X}	21.86 ± 0.01 ^{b,X}
		Final	18.71 ± 0.51 ^{a,Y}	15.27 ± 0.08 ^{b,Y}	19.69 ± 0.07 ^{c,Y}	20.70 ± 0.24 ^{d,Y}
5	Ácido 4-hidroxibenzoico	Inicial	113.63 ± 21.11 ^{b,X}	153.81 ± 10.75 ^{c,X}	196.57 ± 1.23 ^{a,X}	203.58 ± 0.19 ^{a,X}
		Final	26.86 ± 1.16 ^{a,Y}	44.96 ± 6.50 ^{b,Y}	64.26 ± 0.39 ^{c,Y}	102.21 ± 10.42 ^{d,Y}
6	Ácido 2,5-dihidroxibenzoico	Inicial	33.49 ± 0.38 ^{a,X}	34.31 ± 7.49 ^{a,X}	68.49 ± 9.51 ^{b,X}	83.99 ± 2.46 ^{b,X}
		Final	36.02 ± 4.63 ^{a,X}	32.02 ± 2.96 ^{a,X}	86.89 ± 2.95 ^{b,X}	85.84 ± 5.54 ^{b,X}
7	Ácido 3,4-dihidroxifenilacético	Inicial	531.67 ± 7.77 ^{b,X}	599.29 ± 1.09 ^{a,X}	588.25 ± 3.18 ^{a,X}	653.05 ± 13.69 ^{c,X}
		Final	675.57 ± 0.24 ^{b,Y}	634.33 ± 8.50 ^{a,Y}	619.82 ± 14.46 ^{a,Y}	671.39 ± 3.38 ^{b,X}
8	Ácido 4-hidroxi-3-metoxifenilacético	Inicial	16.24 ± 1.16 ^{a,X}	20.20 ± 0.32 ^{b,X}	35.08 ± 0.53 ^{c,X}	15.69 ± 0.96 ^{a,X}
		Final	32.86 ± 0.37 ^{a,Y}	22.00 ± 0.88 ^{b,X}	25.14 ± 1.64 ^{c,Y}	29.15 ± 0.23 ^{d,Y}
9	Ácido 4-hidroxibenzaldehído	Inicial	9.18 ± 0.01 ^{a,X}	9.14 ± 0.02 ^{a,X}	9.60 ± 0.06 ^{b,X}	9.81 ± 0.05 ^{c,X}
		Final	9.97 ± 0.05 ^{a,Y}	9.86 ± 0.04 ^{b,Y}	10.98 ± 0.03 ^{c,Y}	10.39 ± 0.01 ^{d,Y}
Contenido total al final del almacenamiento			156913.6	164338.94	188637.42	247830.46
Ácidos hidroxicinámicos						
10	Ácido trans-cinámico	Inicial	30.52 ± 0.06 ^{a,X}	30.74 ± 0.17 ^{a,X}	32.25 ± 0.10 ^{b,X}	32.66 ± 0.32 ^{b,X}
		Final	33.54 ± 0.15 ^{ab,Y}	30.43 ± 0.01 ^{c,X}	34.34 ± 0.44 ^{b,Y}	32.75 ± 0.40 ^{a,X}
11	Ácido p-cumárico	Inicial	86.27 ± 0.18 ^{c,X}	83.39 ± 0.12 ^{b,X}	92.62 ± 0.15 ^{a,X}	92.48 ± 0.09 ^{a,X}
		Final	95.12 ± 0.15 ^{b,Y}	91.74 ± 0.04 ^{a,Y}	97.69 ± 1.82 ^{c,X}	92.63 ± 0.13 ^{ab,X}
12	Ácido caféico	Inicial	18.85 ± 0.14 ^{a,X}	20.11 ± 0.34 ^{b,X}	25.22 ± 0.06 ^{c,X}	21.77 ± 0.25 ^{d,X}
		Final	20.44 ± 0.25 ^{b,Y}	17.80 ± 0.05 ^{a,Y}	21.40 ± 0.37 ^{c,Y}	18.07 ± 0.01 ^{a,Y}
13	Ácido clorogénico	Inicial	270.10 ± 0.71 ^{a,X}	264.30 ± 1.55 ^{a,X}	188.03 ± 7.01 ^{c,X}	123.52 ± 3.06 ^{b,X}
		Final	71.70 ± 1.35 ^{a,Y}	55.91 ± 0.62 ^{b,Y}	97.25 ± 0.05 ^{c,Y}	84.25 ± 0.52 ^{d,Y}
14	Ácido transferúlico	Inicial	24.04 ± 0.37 ^{b,X}	26.13 ± 0.28 ^{a,X}	26.61 ± 0.16 ^{a,X}	26.50 ± 0.26 ^{a,X}
		Final	31.98 ± 0.40 ^{c,Y}	29.15 ± 0.01 ^{b,Y}	39.51 ± 0.93 ^{a,Y}	40.21 ± 0.64 ^{a,Y}
Contenido total al final del almacenamiento			252.78	225.03	290.19	267.91
Flavonoides						
15	Miricetina	Inicial	14.31 ± 0.03 ^{a,X}	14.58 ± 0.39 ^{a,X}	14.71 ± 0.21 ^{a,X}	13.43 ± 0.23 ^{b,X}
		Final	14.66 ± 0.16 ^{a,X}	14.89 ± 0.08 ^{ab,X}	15.75 ± 0.29 ^{c,X}	15.15 ± 0.01 ^{b,Y}
16	Catequina	Inicial	1406.10 ± 19.66 ^{a,X}	1962.68 ± 11.01 ^{b,X}	1734.50 ± 10.27 ^{c,X}	2702.93 ± 27.84 ^{d,X}
		Final	2048.91 ± 2.05 ^{b,Y}	2376.71 ± 0.01 ^{a,Y}	2394.66 ± 11.09 ^{a,Y}	2691.03 ± 31.80 ^{c,X}
17	Naringenina	Inicial	12.78 ± 0.08 ^{c,X}	12.45 ± 0.15 ^{b,X}	13.58 ± 0.13 ^{a,X}	13.48 ± 0.04 ^{a,X}
		Final	13.89 ± 0.25 ^{a,Y}	13.93 ± 0.02 ^{a,Y}	15.09 ± 0.60 ^{b,X}	15.12 ± 0.01 ^{b,Y}
Contenido total al final del almacenamiento			2077.46	2405.53	2425.5	2721.3
Contenido total de compuestos fenólicos			159243.84	166969.50	191353.11	250819.67

Los valores son la media ± desviación estándar (n=4). Letras minúsculas indican diferencias estadísticas significativas (p<0.05) entre tratamientos en el mismo día de almacenamiento. Letras mayúsculas indican diferencias estadísticas (p<0.05) entre el día inicial y final de almacenamiento por tratamiento.

Este aumento coincidió con el contenido de FST y se atribuye a la síntesis de compuestos fenólicos, para contrarrestar los radicales libres que se producen de manera normal durante el proceso de maduración y como un sistema de defensa al estrés abiótico (temperatura de refrigeración) (Ramos-Guerrero et al., 2018). La disminución del ácido 2-hidroxibenzoico y ácido 4-hidroxibenzoico se debe a que son moléculas que inician respuestas de defensa al ataque de microorganismos (Dey et al. 2005; Islam et al. 2018). En pulpa de yaca se han reportado compuestos fenólicos como los encontrados en este trabajos, entre ellos los ácidos gálico, clorogénico, ferúlico y cafeico; además de quercetina, artocarpina y catequina (Shafiq et al. 2017; Rivera-Aguilar et al., 2021).

Se pudo observar un efecto significativo ($p < 0.05$) de los recubrimientos. Los bulbos de yaca recubiertos con QS-TZM exhibieron un mayor contenido de cada compuesto fenólico al final del almacenamiento seguido de QS-TiO₂ y QS, en comparación con los bulbos control. Se ha demostrado que la aplicación de recubrimientos de QS, solo o funcionalizado con TiO₂, en frutas induce la síntesis de CF, aunque aún no se conoce la vía de señalización del quitosano como inductor del sistema de defensa, se ha comprobado que induce la actividad de la enzima PAL (Ramos-Guerrero et al., 2018). Además, los recubrimientos pueden disminuir la actividad de la enzima polifenol oxidasa por ser una barrera de O₂ (Liu et al., 2021; Xing, et al., 2020). Es importante mencionar que el recubrimiento QS-TZM no es hidrosoluble y es resistente a la temperatura de refrigeración, por lo que logró permanecer durante los 15 días en los bulbos, lo que conlleva a conservar los CF. Por lo contrario, los recubrimientos de QS son hidrosolubles, y el recubrimiento QS-TiO₂ es quebradizo, por lo que su capacidad inductora y de barrera se ve disminuida durante el tiempo de almacenamiento (Anaya-Esparza et al., 2021, 2022); así el contenido de CF fue menor.

7.4 Capacidad antioxidante (CAOX)

Al inicio del almacenamiento no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) de la CAOX de los FST y CT, por ambos métodos (Fig. 7.4). Usando el método DPPH (Fig. 7.4A y 7.4B), los bulbos recubiertos presentaron mayor CAOX que los bulbos control al término del experimento, exhibiendo el mayor aumento de la CAOX, los bulbos recubiertos con QS-TZM con valores promedio de 444.36 mmol/100 g bh en los FST y 350.6 mmol/100 g bh en

CT. El radical DPPH se neutraliza principalmente mediante la donación de hidrógeno de los compuestos fenólicos y carotenoides (Floegel et al., 2011).

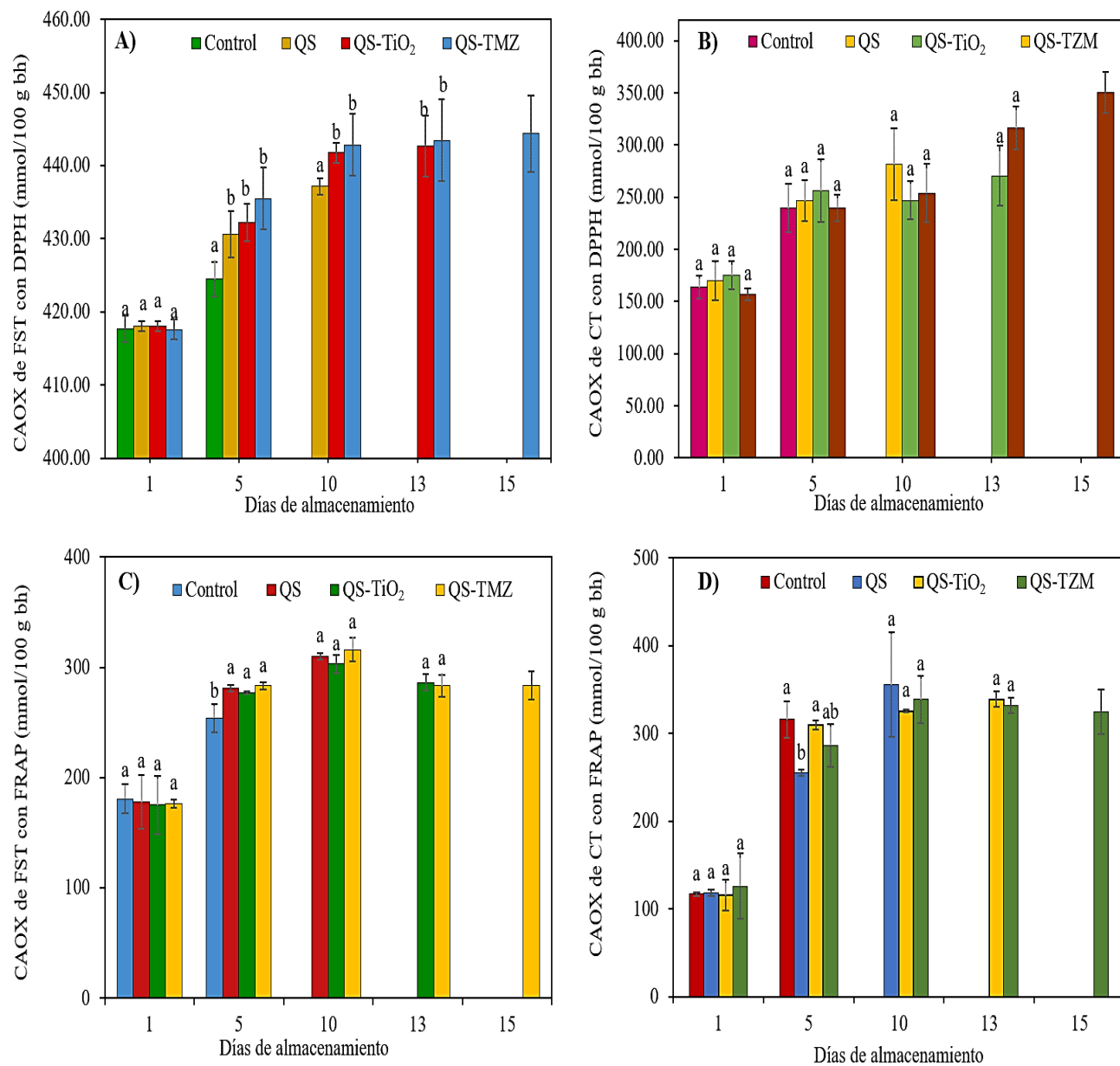


Figura 7.4 Capacidad antioxidante por el método DPPH (A y B) y por el método FRAP (C y D) de fenoles totales y carotenoides totales, respectivamente en bulbos de yaca sin (control) y con recubrimiento de quitosano, quitosano funcionalizado con TiO₂ (Quitosano-TiO₂) y quitosano funcionalizado con TiO₂-ZnO-MgO (Quitosano-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C. Letras minúsculas indican diferencias estadísticas significativas (p<0.05) entre tratamientos.

No obstante, la alta capacidad de neutralización del radical DPPH se asocia principalmente por la donación de protones de antioxidantes hidrofílicos (Pérez-Jiménez et al., 2008); por ende, la CAOX de los FST fue mayor que los CT por este método. Los resultados de CAOX coincidieron con el aumento en el contenido de FST y CT (ver Fig. 7.3A y 7.3D,) de estos mismos tratamientos, aunque también pudieron estar presentes en el extracto otros antioxidantes como la vitaminas C, E y A (Amadi et al., 2018; Chandra y Bharati, 2020; USDA, 2018).

Por otro lado, con el método FRAP también se observa un aumento de la CAOX de los FST (Fig. 7.4B) y CT (Fig. 7.4D); sin embargo, hubo una ligera disminución de la CAOX en los FST de los bulbos recubiertos QS-TiO₂ y QS-TZM a los 13 y 15 días de almacenamiento. Por su parte, la ligera disminución de la CAOX de los CT, solo fue en los bulbos recubiertos QS-TZM. El ión férrico (presente en el TPTZ-Férrico) se reduce a ferroso por la transferencia de electrones por parte de los antioxidantes; así mismo, éstos son capaces de quelar metales (Prior et al., 2005). Se ha demostrado que la vitamina C y compuestos fenólicos como flavonoides y taninos, tiene mayor capacidad de quelación de metales. Los grupos OH del anillo B de los flavonoides pueden donar un hidrógeno y un electrón a radical hidroxilo, peroxilo y peroxinitrito, estabilizándolos y transformándose el flavonoide en una molécula relativamente estable (Heim et al., 2002). No obstante, es importante mencionar que la disminución de la CAOX al final del almacenamiento, por el método de FRAP pudo deberse a la disminución de antioxidantes como vitamina C, así como la oxidación de los compuestos bioactivos (Vargas-Torres et al., 2017) y PH como se observa en la Fig. 7.3 (B)

7.5 Toxicidad por el método de *Artemia Salina*

El porcentaje de supervivencia de *A. salina* en presencia de los bulbos de yaca sin o con los diferentes recubrimientos (QS, QS-TiO₂ y QS-TZM) se presenta en el Cuadro 7.4.

No se observó toxicidad de la de pulpa de yaca en cualquiera de los tratamientos evaluados. Los resultados coinciden con estudios realizados por Parvez y Rahman, (2012) quienes mencionan que las películas de quitosano no son tóxicas para *A. salina* a concentraciones igual o inferiores a una concentración de 4 mg/mL. Anaya-Esparza et al. (2022) evaluaron la toxicidad del recubrimiento QS-TZM y encontraron que a concentraciones de 2000 µg/mL

no hay mortalidad de organismos de *A. salina*. La disminución de los efectos tóxicos del TiO₂ y iones de Zn o Mg, en *A. salina* es debido a que la ingesta de éstos compuestos disminuye, ya que están covalentemente unidos entre sí, y a la matriz del quitosano; por lo tanto se vuelven menos solubles y bioaccesibles (Gonçalves et al. 2017; Liu y Wang, 2017). De igual manera, se ha demostrado que la bioacumulación de nanopartículas en el interior del intestino de las *A. salina* no induce mortalidad tras 24 h de exposición (Cornejo-Garrido et al. 2011)

Cuadro 7.4 Toxicidad de yaca mínimamente procesada sin (Control) y con recubrimientos de quitosano (QS), quitosano funcionalizado con TiO₂ (Quitosano-TiO₂) y quitosano funcionalizado con TiO₂-ZnO-MgO (Quitosano-TZM), midiendo la letalidad (%) y supervivencia (%) de los organismos de *Artemia salina*.

Tratamiento	Concentración (mg/L)	Letalidad (%)	% Supervivencia
Control negativo	Solución salina	0	100
Control	1500	0	100
	1000	0	100
	800	0	100
	600	0	100
	500	0	100
	100	0	100
	QS	1500	0
1000		0	100
800		0	100
600		0	100
500		0	100
100		0	100
QS-TiO ₂		1500	0
	1000	0	100
	800	0	100
	600	0	100
	500	0	100
	100	0	100
	QS-TZM	1500	0
1000		0	100
800		0	100
600		0	100
500		0	100
100		0	100

La prueba se realizó por triplicado

Estos resultados muestran que los recubrimientos no causan toxicidad en los bulbos de yaca; aunque, es necesario realizar más estudios de toxicidad aguda en otros modelos y de toxicidad crónica para observar que efectivamente no afectan a la salud.

7.6 Análisis sensorial

La Fig. 7.5 muestra los resultados del color, olor y sabor de los bulbos de yaca sin y con recubrimientos. Los bulbos recubiertos con QS y QS-TZM tuvieron el mayor puntaje en el color, seguido de los bulbos QS-TiO₂ y finalmente los bulbos control.

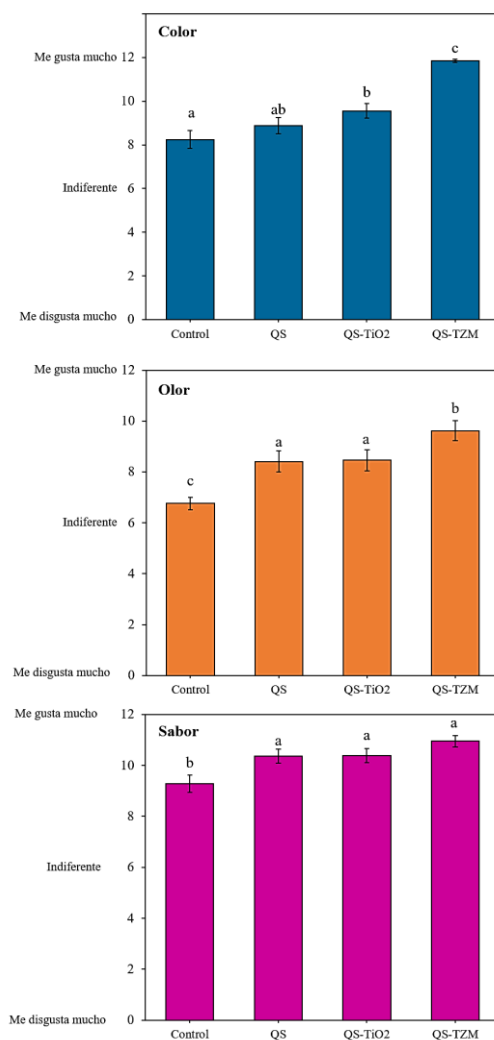


Figura 7.5 Evaluación sensorial de color, olor y sabor de yaca mínimamente procesada sin (Control) y con recubrimientos de quitosano (QS), quitosano funcionalizado con TiO₂ (QS-TiO₂) y quitosano funcionalizado con TiO₂-ZnO-MgO (QS-TZM), durante el almacenamiento a 4 °C. Letras minúsculas indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos.

Los resultados sensoriales del color, coinciden con los valores cuantitativos de color y contenido de carotenoides al final del almacenamiento (ver Cuadro 7.1 y Fig. 7.3D). La menor aceptación del color en los bulbos control y los recubiertos con QS, se atribuye a que los jueces detectaron bulbos menos luminosos y color naranja con tonos ligeramente café. Esto puede ser por la mayor actividad de enzimas involucradas en el pardeamiento enzimático conforme los bulbos maduraron, a la oxidación de CF y CT (Morelos-Flores et al., 2021; Sánchez et al., 2014).

Al parámetro de olor se observa que la mayor aceptabilidad fueron los bulbos recubiertos con QS-TZM, mientras que, el sabor en todos bulbos recubiertos presentó valores sin diferencias significativas ($p > 0.05$), pero con valores mayores ($p < 0.005$) de estos parámetros respecto al control. El olor de los alimentos los detectamos por medio del olfato, mientras que el sabor es a través de la liberación de compuestos químicos (aromas) durante la masticación, que ascienden a la nariz a través de la laringe (Jelén, 2012). En los bulbos control, los resultados del olor y sabor pudieron deberse a que los bulbos alcanzaron más rápidamente la senescencia, esto indica que posiblemente la cantidad de aromas era menor, ya que durante la senescencia puede existir una oxidación de compuestos aromáticos (Vargas-Torres et al. 2017).

Respecto al efecto de los recubrimientos en el olor de los bulbos de yaca, se atribuye a que los recubrimientos protegieron de la oxidación a los compuestos aromáticos y al momento de quitarle el recubrimiento los jueces fueron capaces de detectar los aromas de los bulbos, aunque esto dependió del recubrimiento. De acuerdo a lo reportado por Anaya-Esparza et al. (2022), el recubrimiento QS tiene mayor permeabilidad al O_2 y vapor de agua en comparación con el recubrimiento QS-TiO₂; sin embargo, el de menor permeabilidad a gases fue el recubrimiento QS-TZM. Por lo tanto, es posible que, a pesar que los recubrimientos QS y QS-TiO₂ conservaran y protegieran los compuestos aromáticos de los bulbos de yaca, la estructura del recubrimiento QS-TZM fue más efectiva en la conservación y protección de esos mismos compuestos. Esto, debido a la alta interacción y estabilidad de los enlaces covalentes formados entre todos los componentes del recubrimiento (Anaya-Esparza et al. 2021, 2022), es posible que se tengan menos grupos oxidantes libres, para interactuar con los aromas producidos por los bulbos de yaca; por lo que se infiere que los jueces detectaron mayormente el aroma de los bulbos que los frutos recubiertos con QS-TZM.

Por otro lado, anteriormente se demostró que en los bulbos recubiertos con QS-TZM hubo un mayor contenido de CF, y mayor CAOX; por lo que también se pudo disminuir la concentración de radicales libres, reduciendo así el desarrollo de productos volátiles como aldehídos y cetonas (hidroxiperoxidos) que dan olores y sabores desagradables (Abu-Reidah et al. 2015; Alamed et al. 2009).

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

CAPITULO 8. CONCLUSIONES

El recubrimiento QS-TZM, retraso por más tiempo (15 días) los cambios en los parámetros fisicoquímicos de la yaca mínimamente procesada en comparación con el tratamiento control (5 días), o yaca recubierta con QS (10 días), con QS-TiO₂ (13 días).

La composición nutricional de los bulbos de yaca se conserva en todos los tratamientos evaluados, aunque el recubrimiento QS-TZM ayuda que se pierda menos la humedad, se aumenta el contenido de minerales, se conserven por mayor tiempo las vitaminas como la A E y C.

La yaca mínimamente procesada con el recubrimiento QS-TZM tuvo el mayor contenido de compuestos fenólicos, carotenoides totales, mayor capacidad antioxidante y mayor aceptabilidad en color, olor y sabor en comparación a los bulbos de control.

Los bulbos de yaca con los tres recubrimientos evaluados, no presentaron toxicidad mediante el ensayo de *Artemia salina*.

CAPÍTULO 9. REFERENCIAS

CAPÍTULO 9. REFERENCIAS

- Abu-Reidah, Ibrahim, M., Mohammed, S. Ali-Shtayeh, Rana M. Jamous, David Arráez-Román, and Antonio Segura-Carretero. 2015. "HPLC-DAD-ESI-MS/MS Screening of Bioactive Components from *Rhus Coriaria* L. (Sumac) Fruits." *Food Chemistry* 166:179–91. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.06.011.
- Acedo, J. Z., D. A. C. Varron, I. C. Emnace, R. D. Lauzon, and A. L. Acedo. 2013. "Bioprotective Potential of Lactic Acid Bacteria in Freshcut Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus* Lam.)." *Acta Horticulturae* 989:209–18. doi: 10.17660/actahortic.2013.989.26.
- Aguilar-Hernández, G., García-Magaña, M.L., Vivar-Vera, M.Á., Sáyago-Ayerdi, S.G., Sánchez-Burgos, J.A., Morales-Castro, J., Anaya-Esparza, L.M., Montalvo-González, E. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from *Annona muricata* By-Products and Pulp. *Molecules*. 2019; 24(5):904. <https://doi.org/10.3390/molecules24050904>
- Alamed, Jean, Wilailuk Chaiyasit, D. Julian McClements, and Eric A. Decker. 2009. "Relationships between Free Radical Scavenging and Antioxidant Activity in Foods." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(7):2969–76. doi: 10.1021/jf803436c.
- Amadi, J. A. C., A. IHEMEJE, and O. C. AFAM-ANENE. 2018. Nutrient and Phytochemical Composition of Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus*) Pulp , Seeds and Leaves. *International Journal of Innovative Food, Nutrition & Sustainable Agriculture*. 6(3):27–32.
- Anaya-Esparza, L. M., Pérez-Larios, A., Ruvalcaba-Gómez, J.M., Sánchez-Burgos, J.A., Romero-Toledo, R. and Montalvo-González, E. 2020. "Funcionalización de Los Recubrimientos a Base de Quitosano Para La Conservación Postcosecha de Frutas y Hortalizas." *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas* 23:1–14. doi: 10.22201/fesz.23958723e.2020.0.241.
- Anaya-Esparza, Luis M., José M. Ruvalcaba-Gómez, Rafael Romero-Toledo, Jorge A. Sánche. Burgos, Efigenia Montalvo-González, and Alejandro Pérez-Larios. 2021. "Investigating structural changes of chitosan-tio2 and chitosan-TiO2-ZnO-MgO hybrid

- films during storage by ftir spectroscopy.” *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering* 40(2):197–211. doi: 10.20450/MJCCE.2021.2396.
- Anaya-esparza, Luis Miguel, Apolonio Vargas-torres, Heidi María Palma-rodríguez, Marisol Patricia Castro-mendoza, Elhadi M. Yahia, and Alejandro Pérez-larios. 2022. Effect of Mixed Oxide-Based TiO₂ on the Physicochemical Properties of Chitosan Films. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering* 1–15. <https://doi.org/10.3311/PPch.18953>
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemistry. Washington, D.C., U.S.A.
- Asquieri, E. R., A. M. S. Rabelo, and A. G. M. Silva. 2008. Fermented Jackfruit: Study on Its Physicochemical and Sensorial Characteristics. *Food Science and Technology* 28:881–87. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000400018>.
- Astisaran, I., and J. Martínez. 2002. *Química de Alimentos*. McGraw m H. Madrid, España.
- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal* (McGraw Hil).
- Azizur Rahman, M., Nilufar Nahar, A. Jabbar Mian, and M. Mosihuzzaman. 1999. “Variation of Carbohydrate Composition of Two Forms of Fruit from Jack Tree (*Artocarpus Heterophyllus* L.) with Maturity and Climatic Conditions.” *Food Chemistry* 65(1):91–97. doi: 10.1016/S0308-8146(98)00175-7.
- Balamaze, J., J. H. Muyonga, and Y. B. Byaruhanga. 2019. “Physico-Chemical Characteristics of Selected Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus* Lam) Varieties.” *Journal of Food Research* 8(4):11. doi: 10.5539/jfr.v8n4p11.
- Baliga, Manjeshwar Shrinath, Arnadi Ramachandrayya Shivashankara, Raghavendra Haniadka, Jerome Dsouza, and Harshith P. Bhat. 2011. “Phytochemistry, Nutritional and Pharmacological Properties of *Artocarpus Heterophyllus* Lam (Jackfruit): A Review.” *Food Research International* 44(7):1800–1811. doi: 10.1016/j.foodres.2011.02.035.
- Barbosa, Ignacio, Karla P. Caballero, Noris Ledesma, Sonia G. Sáyago, María de Lourdes Gacía-Magaña, Eric J. Von Wettberg, and Efigenia Montalvo-González. 2017. “Changes in the Nutritional Quality of Five *Mangifera* Species Harvested in Two-

Maturity Stages.” *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97(3):4987–94. doi: 10.1002/jsfa.8377

- Barbosa, Ticiano P., Cláudio G. L. Junior, Fábio P. L. Silva, Horacimone M. Lopes, Lucas R. F. Figueiredo, Suervy C. O. Sousa, Guilherme N. Batista, Thiago G. da Silva, Tania M. S. Silva, Márcia R. de Oliveira, and Mário L. A. A. Vasconcellos. 2009. “Improved Synthesis of Seven Aromatic Baylis-Hillman Adducts (BHA): Evaluation against *Artemia Salina* Leach. and *Leishmania Chagasi*.” *European Journal of Medicinal Chemistry* 44(4):1726–30. doi: 10.1016/j.ejmech.2008.03.016.
- Bautista-Baños, S., R. I. Ventura-Aguilar, Z. y Correa-Pacheco, and M. L. Corona-Rangel. 2017. Chitosan: A Versatile Antimicrobial Polysaccharide for Fruit and Vegetables in Postharvest—a Review. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 23(2):103–21. doi 10.5154/r.rchsh.2016.11.030
- Benzie, Iris, and J. Strain. 1996. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of “Antioxidant Power”: The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry* 239(31):70–76. doi: 10.1039/c6ay01739h.
- Bindon, Keren A., Paul A. Smith, and James A. Kennedy. 2010. “Interaction between Grape-Derived Proanthocyanidins and Cell Wall Material. 1. Effect on Proanthocyanidin Composition and Molecular Mass. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 58(4):2520–28. doi: 10.1021/jf9037453.
- Burns, Jacqueline K., and Ed Echeverria. 1990. Quality Changes During Harvesting and Handling of ‘Valencia’ Oranges. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 103:255–58.
- Calderón-Oliver, Mariel, and Edith Ponce-Alquicira. 2018. Fruits: A Source of Polyphenols and Health Benefits. Pp. 189–228 in *Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes*. Elsevier.
- Chandra, Estuti, and Pushpa Bharati. 2020. Physical and Nutritional Properties of Jackfruit at Different Stages of Maturity. *The Pharma Innovation Journal* 9(12):354–57.
- Chandrika, U. G., E. R. Jansz, and N. D. Warnasuriya. 2005. Analysis of Carotenoids in Ripe Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus*) Kernel and Study of Their Bioconversion in Rats.”

- Journal of the Science of Food and Agriculture* 85(2):186–90. doi: 10.1002/jsfa.1918.
- Chen, J., X. Zou, Q. Liu, F. Wang, W. Feng and N. Wan. 2004. Combination effect of chitosan and methyl jasmonate on controlling *Alternaria alternata* and enhancing activity of cherry tomato fruit defense mechanisms. *Crop Protection*. 56: 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.10.007>
- Cornejo-Garrido, Hilda, Daria Kibanova, Antonio Nieto-Camacho, José Guzmán, Teresa Ramírez-Apan, Pilar Fernández-Lomelín, Maria Laura Garduño, and Javiera Cervini-Silva. 2011. “Oxidative Stress, Cytotoxicity, and Cell Mortality Induced by Nano-Sized Lead in Aqueous Suspensions.” *Chemosphere*. 84(10):1329–35. doi: 10.1016/j.chemosphere.2011.05.018.
- Defilippi, Bruno G., Troy Ejsmentewicz, María Paz Covarrubias, Oriane Gudenschwager, and Reinaldo Campos-Vargas. 2018. Changes in Cell Wall Pectins and Their Relation to Postharvest Mesocarp Softening of ‘Hass’ Avocados (*Persea Americana* Mill.). *Plant Physiology and Biochemistry* 128:142–51. doi: 10.1016/j.plaphy.2018.05.018.
- Dey, Gargi, Moumita Chakraborty, and Adinpunya Mitra. 2005. “Profiling C6-C3 and C6-C1 Phenolic Metabolites in Cocos Nucifera.” *Journal of Plant Physiology* 162(4):375–81. doi: 10.1016/j.jplph.2004.08.006.
- Díaz-Visurraga, J., M. F. Meléndrez, A. García, M. Paulraj, and G. Cárdenas. 2009. Semitransparent Chitosan-TiO₂ Nanotubes Composite Film for Food Package Applications. *Journal of Applied Polymer Science* 116:3503–15. <https://doi.org/10.1002/app.31881>
- Ekanayaka, H., K. Abeywickrama, R. Jayakody, and I. Herath. 2015. Quality Assessment Minimally Processed Immature Jakfruit (*Artocarpus Heterophyllus*, Lam.) as Affected by Pretreatments. *Journal of Food Science and Technology* 52(11):7263–71. doi: 10.1007/s13197-015-1868-2.
- El-Zoghbi, M. 1994. Biochemical Changes in Some Tropical Fruits during Ripening. *Food Chemistry* 49(1):33–37. doi: 10.1016/0308-8146(94)90229-1.
- FAO. 2018. “Minor Tropical Fruits.” Retrieved (http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tr

opical_Fruits/Documents/Minor_Tropical_Fruits_FoodOutlook_1_2018.pdf).

- Faria, A. F., V. V. De Rosso, and A. Z. Mercadante. 2009. Carotenoid Composition of Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus L.*), Determined by HPLC-PDA-MS/MS. *Plant Foods for Human Nutrition* 64(2):108–15. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0111-6>
- Ferrer-Gallego, Raúl, Matilde García-Marino, José Miguel Hernández-Hierro, Julián C. Rivas-Gonzalo, and M. Teresa Escribano-Bailón. 2010. “Statistical Correlation between Flavanollic Composition, Colour and Sensorial Parameters in Grape Seed during Ripening.” *Analytica Chimica Acta* 660(1–2):22–28. doi: 10.1016/j.aca.2009.09.039.
- Aida Gollaz-Machuca, V., Becerra-Verdín, E. M., de Lourdes García-Magaña, M., Julieta González-Acuña, I., Adolfo González-Aguilar, G., Yahia, E. M., and Montalvo-González, E. 2021. Nutritional characterization and in vitro anti-inflammatory activity of guava-Aloe vera puree and its histopathological effect in gastric lesion-induced rats. *Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA)*. 33(9). doi: 10.9755/ejfa.2021.v33.i9.2754
- Gonçalves, R.C., Da Silva, D.P., Signini, R. and Faleiro. 2017. Inhibition of bacterial biofilms by carboxymethyl chitosan combined with silver, zinc and copper salts. *International Journal of Biological Macromolecules*. 105(1); 385-392. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.048>
- Goswami, Chayon, and Rakhi Chacrabati. 2015. *Jackfruit (Artocarpus Heterophyllus)*. Elsevier Inc.
- Guerreiro, Adriana C., Custódia M. L. Gago, Maria L. Faleiro, Maria G. C. Miguel, and Maria D. C. Antunes. 2015. The Effect of Alginate-Based Edible Coatings Enriched with Essential Oils Constituents on *Arbutus Unedo L.* Fresh Fruit Storage. *Postharvest Biology and Technology* 100:226–33. doi: 10.1016/j.postharvbio.2014.09.002.
- Guiné, Raquel, and Sofia Guiné. 2019. *Artocarpus Heterophyllus (Jackfruit): Composition, Nutritional Value and Products*. Pp. 313–32 in *Wild Fruits: Composition, Nutritional Value and Products*, edited by A. A. Mariod.
- Habiba, U., M. d. S. Islam, T. A. Siddique, A. M. Afifi, and B. C. Ang. 2016. Adsorption and Photocatalytic Degradation of Anionic Dyes on Chitosan/PVA/Na–Titanate/TiO₂

- Composites Synthesized by Solution Casting Method. *Carbohydrate Polymers* 149:317–331. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.127>
- Hajji, S., I. Younes, S. Affes, S. Boufi, and M. Nasri. 2018. Optimization of the Formulation of Chitosan Edible Coatings Supplemented with Carotenoproteins and Their Use for Extending Strawberries Postharvest Life. *Food Hydrocolloids* 83(1):375–92. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.013>
- Hartzfeld, P., Forkner, R., Hunter, D., y Hagerman, A. 2002. Determination of hydrolyzable tannis (gallotannins and allagitannins) after reaction with potassium iodate. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 50:1785-1780. <https://doi.org/10.1021/jf0111155>
- He, Yanqiu, Santosh Kumar Bose, Wenxia Wang, Xiaochen Jia, Hang Lu, and Heng Yin. 2018. Pre-Harvest Treatment of Chitosan Oligosaccharides Improved Strawberry Fruit Quality. *International Journal of Molecular Sciences* 19(8). doi: 10.3390/ijms19082194.
- Heim, K.E., Tagliaferro, A.R., and Bobilya, D.J. 2002. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 13(10); 572-84. [https://doi.org/10.1016/S0955-2863\(02\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0955-2863(02)00208-5)
- IFPA. 2002. “International Fresh-Cut Produce Association.” Retrieved (<https://uia.org/s/or/en/1100046698>).
- Islam, Mohammad Zahirul, Mahmuda Akter Mele, Ki Young Choi, Jun Pill Baek, and Ho Min Kang. 2018. Salicylic Acid in Nutrient Solution Influence the Fruit Quality and Shelf Life of Cherry Tomato Grown in Hydroponics. *Sains Malaysiana* 47(3):537–42. doi: 10.17576/jsm-2018-4703-14.
- Jagadeesh, S. L., B. S. Reddy, G. S. K. Swamy, Kirankumar Gorbhal, Laxminarayan Hegde, and G. S. V. Raghavan. 2007. Food Chemistry Chemical Composition of Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus* Lam .) Selections of Western Ghats of India. *Food Chemistry* 102:361–65. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.05.027.
- Jelén, Henryk. 2012. *Food Flavors Chemical, Senory and Technological Properties*. 1st Editio.
- Kader, A. (2002). Postharvets biology and technology: An overview. *Agriculture and*

Natural Resources, 39–47.

- Kaewklin, P., U. Siripatrawan, A. Suwanagul, and Y. .. Lee. 2018. Active Packaging from Chitosan-Titanium Dioxide Nanocomposite Film for Prolonging Storage Life of Tomato Fruit. *International Journal of Biological Macromolecules* 112(1):523–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.01.124>
- Kaushal, Pragati, and H. K. Sharma. 2016. Osmo-Convective Dehydration Kinetics of Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 15(2):118–26. doi: 10.1016/j.jssas.2014.08.001.
- Khaliq, G., M. T. M. Mohamed, P. Ding, H. M. Ghazali, and A. Ali. 2016. Storage Behaviour and Quality Responses of Mango (*Mangifera Indica L.*) Fruit Treated with Chitosan and Gum Arabic Coatings during Cold Storage Conditions. *International Food Research Journal*. 23:S141–48.
- Knee M (ed.). 2002. Fruit Quality and its Biological Basis. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Kraśniewska, Karolina, Iwona Ścibisz, Malgorzata Gniewosz, Marta Mitek, Katarzyna Pobiega, and Andrzej Cendrowski. 2017. Effect of Pullulan Coating on Postharvest Quality and Shelf-Life of Highbush Blueberry (*Vaccinium Corymbosum L.*). *Materials* 10(8). doi: 10.3390/ma10080965.
- Kumarihami, H. M. Prathibhan. C., Jin Gook Kim, Yun Hee Kim, Mockhee Lee, Young Suk Lee, Yong Bum Kwack, and Joonyup Kim. 2021. Preharvest Application of Chitosan Improves the Postharvest Life of ‘Garmrok’ Kiwifruit through the Modulation of Genes Related to Ethylene Biosynthesis, Cell Wall Modification and Lignin Metabolism. *Foods* 10(2):1–17. doi: 10.3390/foods10020373.
- Kurniasih, M., Purwati, and RS Dewi. 2018. Toxicity Tests , Antioxidant Activity , and Antimicrobial Activity of Chitosan Toxicity Tests , Antioxidant Activity , and Antimicrobial Activity of Chitosan. *Materials Science and Engineering*. doi: 10.1088/1757-899X/349/1/012037.
- Lagouge, Marie, Carmen Argmann, Zachary Gerhart-hines, Hamid Meziane, Carles Lerin, Frederic Daussin, Nadia Messadeq, Jill Milne, Philip Lambert, Peter Elliott, Bernard Geny, Markku Laakso, Pere Puigserver, and Johan Auwerx. 2006. Resveratrol Improves

- Mitochondrial Function and Protects against Metabolic Disease by Activating SIRT1 and PGC-1 A. *Cell*. 127:1109–22. doi: 10.1016/j.cell.2006.11.013.
- Liu, Jie, and Wen Xiong Wang. 2017. The Protective Roles of TiO₂ Nanoparticles against UV-B Toxicity in *Daphnia Magna*. *Science of the Total Environment* 593–594:47–53. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.155.
- Liu, S., Yu, Q., Huang, H. R., Hou, K. Y., Dong, R. H., Chen, Y., Xie, J. H., Nie, S. P., Xie, M. Y. 2020. The effect of bound polyphenols on the fermentation and antioxidant properties of carrot dietary fiber in vivo and in vitro. *Food & Function*. 11(1); 748-758. doi: 10.1039/C9FO02277E
- Liu, Z., M. Du, H. Liu, K. Zhang, X. Xu, K. Liu, J. Tu, and Q. Liu. 2021. Chitosan Films Incorporating Litchi Peel Extract and Titanium Dioxide Nanoparticles and Their Application as Coatings on Watercored Apples. *Progress in Organic Coatings*. 151:106103. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106103>
- Loewus, F. A. (1952). Improvement in anthrone method for determination of carbohydrates. *Analytical Chemistry*, 24(1), 219-219. <https://doi.org/10.1021/ac60061a050>
- Mañas, E. y Saura-Calixto, F. 1995. Dietary fiber analysis: Methodological error sources. *Journal of Clinical Nutrition*. 49:158-162. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(94\)90201-1](https://doi.org/10.1016/0308-8146(94)90201-1)
- Marty, I., S. Bureau, G. Sarkissian, B. Gouble, J. M. Audergon, and G. Albagnac. 2005. Ethylene Regulation of Carotenoid Accumulation and Carotenogenic Gene Expression in Colour-Contrasted Apricot Varieties (*Prunus Armeniaca*). *Journal of Experimental Botany* 56(417):1877–86. doi: 10.1093/jxb/eri177.
- Montalvo-González, E., Nolasco-González, Y., de Lourdes García-Magaña, M., Bautista, C. M. M., Fuentes, L. M. H., & Hernández, H. G. (2021). Efecto de recubrimientos en la maduración de yaca almacenada en condición simulada de mercadeo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 12(2), 219-234.
- Montreau, F.R. 1972. Sur le dosage de composés phénoliques totaux dans les vins par la méthode Folin-Ciocalteu. *Cannnaissance de la vigne et du vin*. 24: 397-404.
- Morelos-Flores, D.A., Nolasco-González, Y., Gutiérrez-Martínez, P., Hernández-Fuentes,

- L.M., Montalvo-González, E., and García-Magaña. M.L. 2021. Treated with 1-Methylcyclopropene *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica. Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica* 9(51):90–111.
- Muhialdin, Belal J., Anis Shobirin Meor Hussin, Hana Kadum, Azizah Abdul Hamid, and Ahmad Haniff Jaafar. 2021. Metabolomic Changes and Biological Activities during the Lacto-Fermentation of Jackfruit Juice Using *Lactobacillus Casei* ATCC334. *LWT* 141:110940. doi: 10.1016/j.lwt.2021.110940.
- Navindra, Boodia, Ruggoo Arvind, and Boodoo B. Hassina. 2009. Effects of Antibrowning Agents on the Shelf Life of Fresh-Cut Green Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus* Lam.). *Journal of Applied Horticulture* 11(1):41–45. doi: 10.37855/jah.2009.v11i01.06.
- Ortiz-Duarte, G., L. E. Pérez-Cabrera, F. Artés-Hernández, and G. B. Martínez-Hernández. 2019. Ag-Chitosan Nanocomposites in Edible Coatings Affect the Quality of Fresh-Cut Melon. *Postharvest Biology and Technology* 147(1):174–84. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.021>
- Parvez, Shahed, and M. Mizanur Rahman. 2012. Chitosan and Gelatin Composites for Potential. *Polymer Bulletin*. 715–31. doi: 10.1007/s00289-012-0761-7.
- Paredes-Salido, F. and A. Clemente-Fernández. 2005. Polifenoles de aplicación en farmacia. *Int. J. Farm Sci.* 24: 85-94.
- Pedrero, D. L. Pangborn, R. M. 1989. Evaluación sensorial de los alimentos; Métodos analíticos. Primera Edición. Editorial ALHAMBRA MEXICANA, S.A. de C.V. México, D.F. 105-107, 127-131.
- Pérez-Jiménez, Jara, Sara Arranz, Maria Taberero, M. Elena Díaz- Rubio, José Serrano, Isabel Goñi, and Fulgencio Saura-Calixto. 2008. Updated Methodology to Determine Antioxidant Capacity in Plant Foods, Oils and Beverages: Extraction, Measurement and Expression of Results. *Food Research International* 41(3):274–85. doi: 10.1016/j.foodres.2007.12.004.
- Philip, T., and Chen, T.-S. 1988. Development of a Method for the Quantitative Estimation of Provitamin A Carotenoids in Some Fruits. *Journal of Food Science*. 53(6), 1703–1706. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07820.x>

- Pradas-Baena, I., Moreno-Rojas, J. M. and Luque de Castro, M. D. 2015. Effect of Processing on Active Compounds in Fresh-Cut Vegetables. *Processing and Impact on Active Components in Food*. 3–10. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00001-9>
- Prior, Ronald L., Xianli Wu, and Karen Schaich. 2005. Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53(10):4290–4302. doi: 10.1021/jf0502698.
- Qiao, G., Xiao, Z., Ding, W., & Rok, A. 2019. Effect of chitosan/nano-titanium dioxide/thymol and tween films on ready-to-eat cantaloupe fruit quality. *Coatings*. 9(12), 828. <https://doi.org/10.3390/coatings9120828>
- Ramos-Guerrero, A., González-Estrada, R. R., Efigenia, M., Miranda-Castro, P., & Gutiérrez-Martínez, P. 2018. Effect of the application of inducers on soursop fruit (*Annona muricata L.*): postharvest disease control, physiological behaviour and activation of defense systems. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 1019-1025. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i12.1883>
- Ranasinghe, R. A. S. N., S. D. T. Maduwanthi, and R. A. U. J. Marapana. 2019. Nutritional and Health Benefits of Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus Lam.*): A Review. *International Journal of Food Science* 2019. doi: 10.1155/2019/4327183.
- Reed, J., McDowell, R.E., Van Soest, P. J., y Horvarth, P.J. 1982. Condensed tannins: A factor limiting the use of cassava forage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 33:213-220. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740330302>
- Restrepo, A. M., Cortés, M., and Rojano, B. 2009. Determinación de la vida útil de fresa (*fragaria ananassa duch.*) Fortificada con vitamina e shelf life of strawberry (*fragaria ananassa duch.*) Fortified with vitamin E.
- Rico, D., A. B. Martín-Diana, J. M. Barat, and C. Barry-Ryan. 2007. Extending and Measuring the Quality of Fresh-Cut Fruit and Vegetables: A Review. *Trends in Food Science and Technology*. 18(7):373–86. doi: 10.1016/j.tifs.2007.03.011.
- Rivera-Aguilar, J.O., Calderón-Santoyo, M., González-Cruz, E.M., Ramos-Hernández, J.A., y Ragazzo-Sánchez, J.A. 2021. Encapsulation by electrospraying of Anticancer

- Compounds from Jackfruit Extract (*Artocarpus heterophyllus Lam*): Identification, Characterization and Antiproliferative Properties. *Anti-Cancer Agents in Medical Chemistry*. 21(4):523-531. <https://doi.org/10.2174/1871520620666200804102952>
- Rokayya, Sami, Fuguo Jia, Yang Li, Xin Nie, Jingwen Xu, Rui Han, Huiying Yu, Sikandar Amanullah, Manal Mused Almatrafi, and Mahmoud Helal. 2021. Application of Nano-Titanium Dioxide Coating on Fresh Highbush Blueberries Shelf Life Stored under Ambient Temperature. *LWT*. 137:110422. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110422.
- SADER. 2018. Jaca o Jackfruit, Sabores Deliciosos de Nayarit. Retrieved (<https://www.gob.mx/agricultura/nayarit/articulos/jaca-o-jackfruit-sabores-deliciosos-de-nayarit?idiom=es#:~:text=Nayarit es el primer productor,14%2C429 toneladas de 1300.45 hectáreas.>).
- Salazar, A., and Gamboa, A.. 2013. Importancia de Las Pectinas En La Dinámica de La Pared Celular Durante El Desarrollo Vegetal. *REB. Revista de Educación Bioquímica* 32(2):67–75.
- Sánchez, Leidy Carolina Ayala, Claudia Patricia Valenzuela Real, and Yanneth Bohórquez Perez. 2014. Effect of an Edible Crosslinked Coating and Two Types of Packaging on Antioxidant Capacity of Castilla Blackberries. *Food Science and Technology* 34(2):281–86. doi: 10.1590/fst.2014.0047.
- Saxena, A., Bawa, A.S., y Raju, P.S. 2009. Phytochemical changes in fresh-cut jackfruit (*Artocarpus heterophyllus L.*) bulbs during modified atmosphere storage. *Food Chemistry*. 115(4): 1443-1449. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.080>
- Shafiq, M., S. Mehmood, A. Yasmin, S. J. Khan, N. H. Khan, and S. Ali. 2017. Evaluation of Phytochemical, Nutritional and Antioxidant Activity of Indigenously Grown Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus Lam*). *Journal of Scientific Research* 9(1):135–43. doi: 10.3329/jsr.v1i1.29665.
- Shi, S., W. Wang, L. Liu, S. Wu, Y. Wei, and W. Li. 2013. Effect of Chitosan/Nano-Silica Coating on the Physicochemical Characteristics of Longan Fruit under Ambient Temperature. *Journal of Food Engineering* 118(1):125–31.
- SIAP. 2019. “SIAP. 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario

- Estadístico de La Producción Agrícola 2017.”
- SIAP. 2020. “SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de La Producción Agrícola 2020.”
- Siripatrawan, U., and P. Kaewklin. 2018. Fabrication and Characterization of Chitosan-Titanium Dioxide Nanocomposite Film as Ethylene Scavenging and Antimicrobial Active Food Packaging. *Food Hydrocolloids* 84(1):125–34. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.049>
- Solano-Doblado, L. G., L. Alamilla-Beltrán, and C. JiménezMartínez. 2018. Películas y Recubrimientos Comestibles Funcionalizados. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas* 21(2):30–42. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>
- Soliva-Fortuny, B. C., G. Oms-Oliu, and O. Martín-Belloso. 2002. Effects of Ripeness Stages on the Storage Atmosphere, Color, and Textural Properties of Minimally Processed Apple Slices. *Journal of Food Science* 67(5):1958–63. doi: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb08752.x.
- Suwanaruang, Theeranat. 2016. Analyzing Lycopene Content in Fruits. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 11:46–48. doi: 10.1016/j.aaspro.2016.12.008.
- Sy Mohamad, S. F., Said F. Mohd, M. S. Abdul Munaim, S. Mohamad, and W. M. A. Wan Sulaiman. 2019. Proximate Composition, Minerals Contents, Functional Properties of Mastura Variety Jackfruit (*Artocarpus Heterophyllus*) Seeds and Lethal Effects of Its Crude Extract on Zebrafish (*Danio Rerio*) Embryos. *Food Research* 3(5):546–55. doi: 10.26656/fr.2017.3(5).095.
- TACO. 2006. *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. Nepa-Unicamp: Campinas (Versão 2)*. Campinas, Brasil.
- Tang, Yanjun, Xiulan Hu, Xinqi Zhang, Daliang Guo, Junhua Zhang, and Fangong Kong. 2016. Chitosan/Titanium Dioxide Nanocomposite Coatings: Rheological Behavior and Surface Application to Cellulosic Paper. *Carbohydrate Polymers*. 151:752–59. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.06.023.
- Teja, T. Ravi, K. Komala Santhi, and A. Narsingarao. 2016. Edible Film Coating of Fresh Cut Jack Fruit. *International Journal of Science, Environment and Technology*

5(3):1658–68.

- Ulloa, J. A., J. R. Aguilar-Pusian, P. Rosas-Ulloa, K. M. Del, and B. E. Ulloa-Rangel. 2010. Efecto Del Remojo Con Ácido Cítrico, Ácido Ascórbico y Sorbato de Potasio En La Calidad Fisicoquímica y Microbiológica de Jaca Mínimamente Procesada. *CYTA - Journal of Food* 8(3):193–99. doi: 10.1080/19476330903348791.
- Ulloa, J. A., P. Rosas-Ulloa, J. R. Flores, B. E. Ulloa-Rangel, and H. Escalona. 2007. Comportamiento del color en bulbos del fruto de la jaca (*Artocarpus Heterophyllus*) auto estabilizados en frascos de vidrio por la tecnología de obstáculos. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 5(5):372–78. <https://doi.org/10.1080/11358120709487715>
- USDA. 2016. *United States Department of Agriculture. The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks*. edited by K. C. Gross, C. Y. Wang, and M. Saltveit. California.
- USDA. 2018. “National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release.” Retrieved (<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/174687/nutrients>).
- Vargas-Torres, Apolonio, Annel S. Becerra-Loza, Sonia G. Sayago-Ayerdi, Heidi María Palma-Rodríguez, María de Lourdes García-Magaña, and Efigenia Montalvo-González. 2017. Combined Effect of the Application of 1-MCP and Different Edible Coatings on the Fruit Quality of Jackfruit Bulbs (*Artocarpus Heterophyllus Lam*) during Cold Storage. *Scientia Horticulturae* 214:221–27. doi: 10.1016/j.scienta.2016.11.045.
- Villegas, E., Ortega, E., and Baurer, R. 1982. Analítico: Métodos químicos usados en el CIMMYT para determinar la calidad de proteínas de los cereales.
- Vivek, K., and K. V. Subbarao. 2018. Effect of Edible Chitosan Coating on Combined Ultrasound and NaOCl Treated Kiwi Fruits during Refrigerated Storage.”*International Food Research Journal*. 25(1):101–8.
- Xing, Yage, Xuanlin Li, Xunlian Guo, Wenxiu Li, Jianwen Chen, and Qian Liu. 2020a. Effects of Different TiO₂ Nanoparticles Concentrations on the Physical and Antibacterial Activities of Chitosan-Based Coating Film. *Nanomaterials* 10:1365. <https://doi.org/10.3390/nano10071365>
- Xing, Yage, Hua Yang, Xunlian Guo, Xiufang Bi, Xiaocui Liu, Qinglian Xu, Qin Wang,

- Wenxiu Li, Xuanlin Li, Yuru Shui, Cunkun Chen, and Yi Zheng. 2020b. Effect of Chitobsan/Nano-TiO₂ Composite Coatings on the Postharvest Quality and Physicochemical Characteristics of Mango Fruits. *Scientia Horticulturae*. 263:109–35. doi: 10.1016/j.scienta.2019.109135.
- Xu, D., H. Qin, and D. Ren. 2018. Prolonged Preservation of Tangerine Fruits Using Chitosan/Montmorillonite Composite Coating. *Postharvest Biology and Technology* 143(1):50–57. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.04.013>
- Xu, M., Zhou, W., Geng, W., Zhao, S., Pan, Y., Fan, G., ... & Liao, K. (2021). Transcriptome analysis insight into ethylene metabolism and pectinase activity of apricot (*Prunus armeniaca* L.) development and ripening. *Scientific reports*. 11(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92832-6>
- Yong, Huimin, Xingchi Wang, Ruyu Bai, Ziqing Miao, Xin Zhang, and Jun Liu. 2019. “Development of Antioxidant and Intelligent PH-Sensing Packaging Films by Incorporating Purple-Fleshed Sweet Potato Extract into Chitosan Matrix.” *Food Hydrocolloids* 90:216–24. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.12.015.
- Zhang, X., Zhu, K., Xie, J., Chen, Y., Tan, L., Liu, S., ...and Yu, Q. 2021. Optimization and identification of non-extractable polyphenols in the dietary fiber of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) pulp released by alkaline, acid and enzymatic hydrolysis: Content, composition and antioxidant activities. *LWT*. 138, 110400. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110400>