

COLECCIÓN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PARA TODOS

Recubrimiento a base de almidón de yuca modificado para disminuir el efecto de maduración del níspero (*Eriobotrya japonica Lindl*)

RAFAEL ENRIQUE OLIVERO VERBEL
DUBÁN FELIPE MIRANDA HERNÁNDEZ
ALEXY FLÓREZ VERGARA



COLECCIÓN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PARA TODOS

Recubrimiento a base de almidón de yuca modificado para disminuir el efecto de maduración del níspero (*Eriobotrya japonica* Lindl)

RAFAEL ENRIQUE OLIVERO VERBEL
DUBÁN FELIPE MIRANDA HERNÁNDEZ
ALEXY FLÓREZ VERGARA



Sello Editorial
**UNIVERSIDAD
DEL ATLÁNTICO**

Olivero Verbel, Rafael Enrique -- Miranda Hernández, Dubán Felipe -- Flórez Vergara, Alexy
Recubrimiento a base de almidón de yuca modificado para disminuir el efecto de maduración
del níspero (*Eriobotrya japónica* L.) / Rafael Enrique Olivero Verbel, Dubán Felipe Miranda
Hernández, Alexy Flórez Vergara. – 1 edición. – Puerto Colombia, Colombia: Sello Editorial
Universidad del Atlántico, 2020.

Colección Investigación y desarrollo para todos.

Ilustraciones. Incluye bibliografía

ISBN: 978-958-5173-03-3 (digital descargable)

1. Productos de la yuca – investigaciones. 2. Almidón de mandioca – análisis. 3. Níspero –
maduración -- investigaciones. I. Autor. II. Título.

CDD: 630 O48



Sello Editorial
UNIVERSIDAD
DEL ATLÁNTICO

www.unitlantico.edu.co
Kilómetro 7, Antigua Vía a Puerto Colombia.
Barranquilla, Colombia.

© 2020, Sello Editorial Universidad del Atlántico.
ISBN 978-958-5173-03-3

Coordinación editorial
Sonia Ethel Durán.

Asistencia editorial
Estefanía Calderón Potes.

Diseño y diagramación
Luz Miriam Giraldo Mejía.

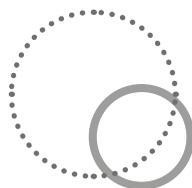
Revisión y corrección
Luzkarime Calle-Díaz.

Impreso y hecho en Barranquilla, Colombia.
Ditar S.A. www.ditar.co
Kilómetro 7, Vía a Juan Mina.
Parque Industrial Clavería.

Printed and made in Barranquilla, Colombia.



Esta obra se publica bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0). Esta licencia permite la distribución, copia y exhibición por terceros de esta obra siempre que se mencione la autoría y procedencia, se realice con fines no comerciales y se mantenga esta nota. Se autoriza también la creación de obras derivadas siempre que mantengan la misma licencia al ser divulgadas.



La presente colección es posible gracias a las siguientes autoridades académicas de la Universidad del Atlántico:

José Rodolfo Henao Gil

Rector

Leonardo Niebles Núñez

Vicerrector de Investigaciones, Extensión y Proyección Social

Danilo Hernández Rodríguez

Vicerrector de Docencia

Mariluz Stevenson

Vicerrectora Financiera

Josefa Cassiani Pérez

Secretaria General

Miguel Caro Candezano

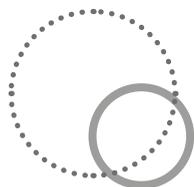
Jefe del Departamento de Investigaciones

Agradecimientos especiales

Facultad de Ingeniería

Decana Yussy Arteta Peña

2020



La colección ***Investigación y desarrollo para todos*** es una iniciativa liderada por la Vicerrectoría de Investigaciones, Extensión y Proyección Social de la Universidad del Atlántico, pensada como herramienta para la divulgación de la investigación y el conocimiento que se genera en el Caribe colombiano.

Contenido

1. Introducción	1
2. Justificación.....	4
3. Objetivos	6
3.1. Objetivo general	6
3.2. Objetivos específicos.....	6
4. Marco referencial	7
4.1. Antecedentes.....	7
4.2. Marco teórico	9
4.2.1 <i>Consideraciones generales sobre la conservación natural de alimentos.....</i>	9
4.2.2 <i>El cultivo del níspero.....</i>	10
4.2.3 <i>El cultivo de la yuca.....</i>	12
4.2.4 <i>Almidón de yuca.....</i>	13
4.2.5 <i>Recubrimiento de biopolímeros para frutas.....</i>	16
5. Metodología.....	17
5.1. Materias primas.....	17
5.2. Diseño experimental.....	17
5.3. Diseño metodológico	18

5.3.1. <i>Modificación del almidón de yuca.</i>	18
5.3.2. <i>Preparación del almidón.</i>	18
5.3.3. <i>Determinación de las propiedades</i>	20
<i>funcionales del almidón modificado.</i>	20
5.4. <i>Materia prima</i>	23
5.4.1. <i>Preparación del recubrimiento comestible.</i>	23
5.4.2. <i>Aplicación de los recubrimientos.</i>	23
5.4.3. <i>Almacenamiento de los nísperos recubiertos.</i>	23
5.5. <i>Evaluación del efecto del recubrimiento sobre las</i> <i>propiedades fisicoquímicas del níspero para determinar el efecto</i> <i>de maduración</i>	24
5.5.1. <i>Determinación del índice de madurez (IM) del níspero.</i>	24
5.5.2. <i>Determinación de la acidez titulable.</i>	25
5.5.3. <i>Determinación de sólidos solubles totales.</i>	25
5.5.4. <i>Determinación del pH.</i>	25
5.6. <i>Análisis estadístico</i>	26
6. Resultados y discusión	27
6.1. <i>Análisis de los resultados de los diferentes tratamientos sobre</i> <i>los grados Brix del níspero</i>	37
6.1.1. <i>Estado de los grados Brix del níspero en relación con los</i> <i>tratamientos (día 4, 8, 12).</i>	37
6.2 <i>Análisis de los diferentes tratamientos sobre la acidez</i> <i>del níspero</i>	40
6.2.1. <i>Estado de la acidez del níspero en relación con los</i> <i>tratamientos (día 4, 8, 12).</i>	40
6.3. <i>Análisis del índice de madurez del níspero en relación con los</i> <i>tratamientos experimentales</i>	43
6.3.1. <i>Análisis del índice de madurez (relación sólidos solubles /</i> <i>acidez) del níspero (día 4, 8, 12).</i>	43
6.4. <i>Análisis del pH del níspero en relación con los tratamientos</i> <i>experimentales</i>	45
6.4.1 <i>Análisis del pH (día 4, 8, 12).</i>	45

8. Recomendaciones	49
Referencias.....	50
Anexos	55

Listado de gráficos

Gráfico 1. Diagrama de flujo preparación del almidón oxidado	19
Gráfico 2. Comportamiento de los grados Brix según tiempo de almacenamiento.....	38
Gráfico 3. Comportamiento de la acidez titulable según tiempo de almacenamiento.....	41
Gráfico 4. Comportamiento del índice de madurez según tiempo de almacenamiento.....	44
Gráfico 5. Comportamiento del pH según tiempo de almacenamiento.....	46

Listado de tablas

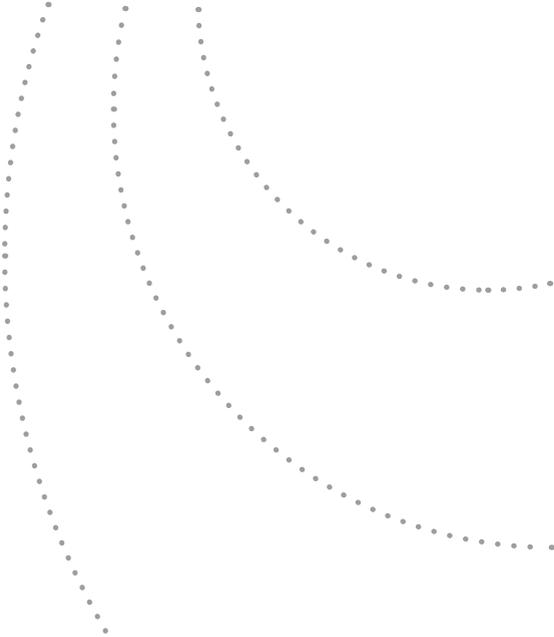
Tabla 1. Codificación de almidones modificados.	14
Tabla 2. Sustitución molar de almidones de yuca	15
Tabla 3. Contenido de amilosa y amilopectina de los almidones.	15
Tabla 4. Temperaturas de transición vítrea (Tg) en almidón nativo y modificado de yuca	16
Tabla 5. Almacenamiento de los nísperos recubiertos.....	24
Tabla 6. Propiedades del almidón de yuca modificado para el diseño experimental.	28
Tabla 7. Comparaciones múltiples entre concentraciones de hipoclorito y carbonilos.	29

Tabla 8. Comparaciones múltiples entre concentraciones de hipoclorito y carboxilos.	31
Tabla 9. Comparaciones múltiples entre concentraciones de hipoclorito y capacidad de retención de agua CRA.	32
Tabla 10. Comparaciones múltiples entre concentraciones de hipoclorito y capacidad emulsificante.	34
Tabla 11. Comparaciones múltiples entre concentraciones de hipoclorito y solubilidad.	36
Tabla 12. Minimizar grados Brix.	40
Tabla 13. Tratamiento maximizar índice de acidez.	42
Tabla 14. Tratamiento minimizar IM.	45
Tabla 15. Tratamiento minimizar pH.	47

Listado de anexos

Anexo 1. Evidencias fotográficas del diseño experimental.	55
Anexo 2. Contenido Carbonilo	61
Anexo 3. Análisis ANOVA almidón oxidado.	63
<i>Anexo 3A. Resultados - Carbonilos.</i>	63
<i>Anexo 3B. Resultados - Carboxilos.</i>	65
<i>Anexo 3C. Resultados - Absorción de agua.</i>	67
<i>Anexo 3D. Resultados - Capacidad emulsificante.</i>	69
<i>Anexo 3E. Resultados - Solubilidad.</i>	71
Anexo 4. Resultados del diseño experimental.....	73
<i>Anexo 4A. Análisis ANOVA para los resultados de grados Brix.</i>	73
<i>Anexo 4B. Análisis ANOVA para los resultados de grados acidez.</i> ...	75
<i>Anexo 4C. Análisis ANOVA para los resultados de índice de madurez.</i>	77
<i>Anexo 4D. Análisis ANOVA para los resultados de grados acidez.</i> .	79

Anexo 5. Tabla de datos experimentales.	81
<i>Anexo 5A. Resultados de las propiedades de grados Brix en el níspero recubierto para el diseño experimental</i>	81
<i>Anexo 5B. Resultados de las propiedades de grados acidez en el níspero recubierto para el diseño experimental.</i>	82
<i>Anexo 5C. Resultados de las propiedades de índice de madurez en el níspero recubierto para el diseño experimental.</i>	83
<i>Anexo 5D. Resultados de las propiedades de pH en el níspero recubierto para el diseño experimental.</i>	84
Anexo 6. Gráficos de efectos estandarizados.	85
<i>Anexo 6A. Efectos estandarizados de los grados Brix (día 4-8-12)...</i>	85
<i>Anexo 6B. Efectos estandarizados de la acidez (día 4-8-12).....</i>	86
<i>Anexo 6C. Efectos estandarizados índice de madurez (día 4-8-12). ..</i>	87
<i>Anexo 6D. Efectos estandarizados pH (día 4-8-12).</i>	88
Los autores	89



Prólogo

Durante la postcosecha de frutas y vegetales, las pérdidas pueden ser de hasta un 60% del total de la producción. Existen varios tratamientos para disminuir este fenómeno, tales como el almacenamiento a bajas temperaturas, la aplicación de tratamientos térmicos e irradiación, el uso de fungicidas químicos, entre otros. Esta investigación está dirigida a la utilización de recubrimientos a base de compuestos naturales para prolongar la vida de anaquel y mantener la calidad del níspero, evaluando el efecto del recubrimiento comestible sobre el proceso de maduración de esta fruta. Se elaboraron las suspensiones de recubrimientos a base de almidón oxidado de yuca, un plastificante (glicerol), un compuesto lipídico (cera carnauba) y un emulsificante (Tween 80). La concentración de almidón y la temperatura de almacenamiento fueron los factores más influyentes en la conservación del níspero. Los recubrimientos elaborados con altas concentraciones (4%) de almidón oxidado disminuyen el efecto de maduración de los nísperos, que fue determinado por los valores de SST, pH, acidez e índice de madurez. Sin embargo, los tratamientos T3, T5 y T6, que se almacenaron a temperatura ambiente, luego del día 8 comenzaron a lixiviar debido al debilitamiento del recubrimiento y a la contaminación por plagas voladoras. El T2, que contenía 4% de almidón oxidado, 0,5 % de cera carnauba y sistema de almacenamiento refrigerado, fue el tratamiento que obtuvo los valores más bajos en todas las propiedades evaluadas (SST, pH, acidez e índice de madurez), con respecto a los otros tratamientos.

1. Introducción

Los recubrimientos comestibles que se aplican en frutas, con el fin de aumentar su vida útil en anaquel, están ganando espacio fuertemente en esta industria. Esta tecnología o aplicación es una barrera contra los microorganismos y la pérdida de humedad, que causan una disminución de la firmeza y peso de las frutas, lo cual ocasiona cambios en el sabor y la apariencia. Estos recubrimientos presentan permeabilidad a algunos gases en la fruta, disminuyendo su respiración y evitando la pérdida de compuestos volátiles, retardando así el pardeamiento enzimático. Con respecto a los efectos organolépticos, al reducirse la abrasión durante la manipulación, estos conservan su color y brillos naturales (Vázquez-Briónes & Guerrero-Beltrán, 2013).

El níspero es una fruta afrodisiaca altamente cultivada en la región Caribe. Este producto posee una gran cantidad de azúcar y, debido a esto, no ha tenido un gran auge para la exportación porque sus pérdidas postcosecha son altamente notorias. Se han presentado diversas alternativas para disminuir el deterioro de frutas y hortalizas; entre estas se encuentran los recubrimientos comestibles que prolongan la vida útil del producto. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del recubrimiento comestible sobre el efecto de maduración del níspero. Se elaboraron las suspensiones de recubrimientos a base de almidón oxidado de yuca, un plastificante (glicerol), un compuesto lipídico (cera carnauba) y un emulsificante (Tween 80), y se aplicaron a nísperos seleccionados. Estos frutos se almacenaron, unos a temperatura ambiente y otros refrigerados. Se evaluó el efecto de las propiedades fisicoquímicas durante 12 días.

Se aplicó un diseño factorial (2^3), completamente aleatorio, con 3 factores (concentración de almidón oxidado, concentración de cera carnau-

ba y temperatura de almacenamiento). La concentración de almidón y la temperatura de almacenamiento fueron los factores más influyentes en la conservación del níspero. Los recubrimientos elaborados con altas concentraciones (4%) de almidón oxidado disminuyen el efecto de maduración de los nísperos, que fue determinado por los valores de SST, pH, acidez e índice de madurez. Sin embargo, en los tratamientos T3, T5 y T6, que se almacenaron a temperatura ambiente, luego del día 8 comenzaron a lixiviar debido al debilitamiento del recubrimiento y a la contaminación por plagas voladoras. El T2, que contenía 4% de almidón oxidado, 0,5 % de cera carnauba y sistema de almacenamiento refrigerado, fue el tratamiento que obtuvo los valores más bajos en todas las propiedades evaluadas (SST, pH, acidez e índice de madurez) con respecto a los otros tratamientos.

En Colombia, se conocen dos clases de nísperos: el japonés, fruto de forma ovalada y amarilla; y el níspero costeño, generalmente redondo, de color café y de carnosidad café clara. Este último es utilizado en la gastronomía caribeña colombiana. El níspero costeño es apreciado por su carne firme y jugosa, con sabor acidulado; tiene propiedades digestivas, diuréticas, astringentes y depurativas. Se emplea en la medicina naturalista para curar enfermedades como la tos, la diarrea, los cálculos renales y la diabetes, entre otras (Márquez, Cartagena & Pérez-Gago, 2009). La conservación del producto en la postcosecha se considera un factor de suma importancia, puesto que se debe garantizar que la fruta llegue con la calidad sensorial y física que la caracteriza. Por lo anterior, una alternativa para contrarrestar el deterioro de frutas y hortalizas es el uso de recubrimientos comestibles, estos mantienen sus atributos en postcosecha y brindan una mayor vida útil.

En la actualidad, existe una tendencia hacia lo natural y biodegradable con el fin de prolongar la vida útil y mejorar la calidad de productos alimentarios (Fernández *et al.*, 2015). La implementación de nuevas alternativas ha venido creciendo debido a la necesidad de reducir y sustituir el empleo de polímeros sintéticos, con el fin de proteger el medio ambiente, mantener la calidad de los productos, generar valor agregado, y direccionarlos a que respondan a las necesidades y preferencias del consumidor (Mosquera & Paz, 2017).

En cuanto a las oportunidades y potencialidades del níspero para su exportación, esta estrategia ayudaría a optimizar la conservación para su empaque, embalaje y entrega, y poder tener productos frescos de calidad

en los mercados internacionales. Con este estudio, se busca evaluar el efecto de la aplicación de recubrimiento a base de almidón oxidado de yuca en la conservación del níspero para obtener un producto innovador, con mayor vida útil y mejor presentación, reduciendo así las pérdidas postcosechas.

2. Justificación

En la actualidad, existe una tendencia muy marcada hacia la producción y transformación limpia de materias primas, la producción y eficiencia con el mínimo impacto ambiental y la reducción de agentes químicos en la siembra, control y postcosecha de las frutas, impactando directamente el consumo de alimentos saludables para la conservación y mantenimiento de la salud de los consumidores. El desarrollo de películas y recubrimientos comestibles aplicados a productos hortofrutícolas, tanto frescos como mínimamente procesados, ha generado recientes avances respecto al efecto sinérgico de los componentes sobre la vida de anaquel de dichos alimentos (Fernández *et al.*, 2015).

Para el año 2015, en lo que respecta a la producción de níspero en Sudamérica, Colombia se encuentra como el principal país productor de frutos de esta especie, con una producción anual de 1.120.000 toneladas, seguido de Brasil con 335.000, y Perú con 253.179. En lo que se refiere a Colombia y al departamento del Atlántico, para el año 2015 el níspero tuvo una producción de 157 ton/año; una producción pequeña en comparación con frutos como el mango, el limón y la guayaba, entre otros, que alcanzan producciones por encima de las 5000 ton/año (Márquez & Pérez, 2009).

El uso de hidrocoloides, plastificantes, aditivos y compuestos activos tiene como objetivo generar una atmósfera modificada (AM), que tiene la capacidad de controlar la transferencia de masa representada en solutos, solventes y gases. Además, puede migrar sustancias desde la matriz ubicada en la superficie del alimento, tener efectos positivos sobre el control de la tasa de crecimiento microbiano, y mantener características tan deseadas por los consumidores como firmeza, brillo, color de los frutos e, incluso, en alimentos procesados como los productos fritos, puede llegar a minimizar la absorción de lípidos (Fernández *et al.*, 2015). Por lo anteriormente anotado, su estudio y divulgación seguirá siendo un

tópico de vital importancia en las tecnologías emergentes, ya que son evidentes sus efectos benéficos sobre la minimización de pérdidas postcosecha, ralentización en el consumo de materiales poliméricos sintéticos, desarrollo de nuevos e innovadores biomateriales, productos frescos y mínimamente procesados.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

- Elaborar un recubrimiento comestible a base de almidón de yuca modificado para disminuir el efecto de maduración del níspero.

3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de almidón adecuado para elaborar el recubrimiento comestible ideal para el níspero.
- Evaluar parámetros como capacidad emulsificante, capacidad de retención de agua y grados de oxidación, para así obtener el almidón adecuado para elaborar el recubrimiento comestible.
- Elaborar un recubrimiento comestible variando la concentración de almidón, cera carnauba y el sistema de almacenamiento.
- Determinar el tratamiento que inhibe el efecto de maduración del níspero a partir de la medición de parámetros tales como grados Brix, pH, índice de madurez y acidez.

4. Marco referencial

4.1. Antecedentes

En estos tiempos, hay una suscitada necesidad de los consumidores por comer alimentos saludables. Muchas tecnologías emergentes están ofreciendo alimentos seguros y sensorialmente aceptables al consumidor moderno. Entre estas, resaltamos los recubrimientos comestibles de origen natural que, además de proteger la estructura y conferir mayor conservación del alimento, pueden aportar valor nutricional (Cortés-Rodríguez *et al.*, 2019). Los recubrimientos en alimentos se han convertido en una alternativa potencial para prevenir su deterioro. Históricamente, desde los siglos XII y XIII, en países orientales como China, se realizaban inmersiones en cera de naranjas y limas para retardar la pérdida de agua, imitando las cubiertas naturales de los productos vegetales comestibles. Para el análisis del estado del arte de la presente investigación, se tuvieron en cuenta antecedentes a nivel nacional, así como referentes a nivel internacional (Pedraza *et al.*, 2010).

Para empezar, el estudio *Almidón modificado: propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas* concluyó que el almidón posee propiedades mecánicas y de barrera a gases y vapores, así como propiedades funcionales útiles para cubrir frutas o vegetales frescos (Ramos-García, Romero-Bastida & Bautista-Baños, 2018). En una investigación realizada por Barco *et al.* (2011) se empleó un diseño completamente al azar para la valoración de los tratamientos, con tres réplicas y tres repeticiones en cada tratamiento. Se encontraron diferencias

significativas ($p < 0.05$) en el resultado de las variables de respuesta. El tratamiento T4 fue el adecuado, seguido por T3, presentando retraso en la maduración y manteniendo las condiciones de calidad del tomate por un periodo de 4 días, con un 4.64% de pérdida de peso y firmeza entre 2.54 y 8.91 Newton hasta el día 22.

En otra investigación, se realizaron cinco formulaciones de recubrimientos comestibles a base de mezclas de almidón de yuca y goma de gelano, en proporción 80:20 con y sin 25 % (respecto al polímero) de aceite esencial de tomillo (*Thymus zygis*), incorporado mediante emulsificación directa o encapsulación previa en liposomas de lecitina. Se caracterizó la estabilidad y tamaño de partícula de las dispersiones y su comportamiento reológico, así como las propiedades de barrera al vapor de agua y al oxígeno de los films aislados. En su aplicación en manzanas, se cuantificó la densidad superficial de sólidos en la superficie de la fruta, la velocidad de pérdida de peso de los frutos y su tasa respiratoria, así como la firmeza de las frutas después de dos semanas de almacenamiento. El aceite esencial emulsionado y, sobre todo, encapsulado en lecitina, redujo la capacidad de absorción de agua y permeabilidad al vapor de agua de los films, que presentaron muy baja permeabilidad al oxígeno. No obstante, estos efectos no se reflejaron de forma notable en su aplicación en manzanas. Los recubrimientos tuvieron una efectividad limitada en cuanto al control de la pérdida de peso y la tasa de respiración, aunque se observó una ligeramente mejor preservación de la firmeza en las frutas recubiertas con las formulaciones con menor ángulo de contacto y menor permeabilidad al vapor de agua, como la mezcla almidón-gelano y aceite esencial encapsulado en lecitina (Pauta, 2018).

Por otro lado, en el estudio de Ascencio (2016) se midió el efecto que tenía un recubrimiento comestible a base de almidón oxidado de yuca en la conservación de ñame mínimamente procesado empacado al vacío. Para evaluar el efecto, se realizó una mezcla del almidón de yuca con otros componentes como glicerol, ácido ascórbico, cera carnauba y Tween 80. Para encontrar la matriz adecuada, la ingeniera realizó 16 tratamientos en los cuales modificó la concentración de almidón (3% y 2%), la concentración de cera (0,1% y 0,2%) y la concentración de ácido (0,5% y 0,1%). Posteriormente, agregó la mezcla al ñame dejándolo durante 42 días en condiciones ambientales normales, para así realizar mediciones cada 7 días y evaluar parámetros como color, pH, pérdida de peso y pardeamiento. Se obtuvo como resultado que, a concentraciones de 0,5 de ácido ascórbico y 0,1 de cera, el ñame mínimamente procesado mantiene las

características de pH, acidez, índice de pardeamiento y luminosidad a mejores niveles en comparación con otros tratamientos (Ascencio, 2016).

Un estudio realizado en el año 2011 sobre películas y recubrimientos comestibles, haciendo énfasis en su obtención y aplicación en la cadena hortofrutícola concluyó que el uso de películas y recubrimientos comestibles constituye un nuevo enfoque de conservación para la cadena hortofrutícola, ya que puede modificar el intercambio gaseoso del fruto, controlar la pérdida de agua y, por ende, la deshidratación superficial de los tejidos vivos (Morales, 2011).

4.2. Marco teórico

4.2.1 Consideraciones generales sobre la conservación natural de alimentos.

Se estima que las pérdidas postcosecha de los productos hortofrutícolas que se producen en el mundo sobrepasan el 20,0%, debido a deterioros microbiológicos y fisiológicos, como consecuencia de factores de orden tecnológico, tales como: inadecuado proceso de recolección, empaques no apropiados, insuficientes vías para la transportación, entre otros; lo que se traduce en un corto período de almacenamiento (Fernández *et al.*, 2015). Los recubrimientos son matrices continuas formuladas a base de lípidos, proteínas o carbohidratos, o mezclas de estos componentes, que confieren diferentes propiedades fisicoquímicas. Un carbohidrato utilizado para la formulación de los recubrimientos comestibles es el quitosano, el cual reduce el crecimiento de hongos y bacterias (Mosquera & Paz, 2017).

Por otro lado, los productos contaminados por bacterias tales como *Escherichia coli*, *Salmonella sp.* y *Listeria monocytogenes*, pueden causar enfermedades graves a los humanos ocasionando hasta la muerte si no son tratados a tiempo. Los recubrimientos pueden servir como vehículos para un amplio rango de aditivos, incluyendo compuestos antimicrobianos, con la finalidad de proporcionarles mayores atributos, entre ellos, el control de microorganismos. Entre los aditivos naturales están los aceites esenciales, con amplia evidencia de que, aquellos extraídos de diferentes plantas, presentan inhibición contra hongos y bacterias (Molina, 2008; Fernández *et al.*, 2015).

Durante muchos años, se han buscado e implementado diferentes técnicas para aumentar la vida útil de frutas y hortalizas debido a que sufren ilimitados daños —desde el momento de su recolección hasta el consumo— como deshidratación, pérdida de su valor nutricional, pérdida de sus características físicas, entre otras (Ramos-García *et al.*, 2010). Se estima que entre el 25,0 y el 35,0% de la producción total de frutas y hortalizas en el mundo es afectado por diferentes factores de postcosecha, haciendo que el fruto pierda su calidad. Para poder prevenir estas pérdidas, se recomienda cumplir con ciertos parámetros como el medioambiente, almacenamiento y excelente tecnología para que los frutos no sufran daños mayores a los que están expuestos y prolongar la vida útil de estos (Morales & Robayo, 2015).

Puesto que ninguna de las técnicas anteriormente mencionadas cumple con todos los requisitos para mantener los alimentos en excelente calidad, se han estudiado técnicas como los recubrimientos comestibles que, debido a su composición natural, no son tóxicos, son de fácil y rápida elaboración, y son económicos. Por lo anterior, han tenido un gran auge en la industria, implementándose en frutas y hortalizas como mango, guayaba, papaya, yuca y aguacate, entre otros (Almeida-Castro *et al.*, 2011; Mosquera & Paz, 2017).

4.2.2 El cultivo del níspero.

El níspero es originario de Japón. Se cultiva también en la zona media y baja del río Daduhe en China. Esta región se caracteriza por tener, a lo largo de todo el año, temperaturas aceptables para el cultivo de este fruto puesto que este se adapta a zonas templado-cálidas de todo el mundo (Márquez, Cartagena & Pérez-Gago, 2009). El níspero japonés (*Eriobotrya japonica*) pertenece al orden *Rosales*, familia *Rosaceae*, subfamilia *Pomoideae*.

El árbol posee una hoja perenne y se caracteriza por ser muy predominante. En tiempo de cultivo, este puede alcanzar una altura entre 6,0 y 9,0 metros (Ramos-García, Romero-Bastida & Bautista-Baños, 2018). El fruto es generalmente de forma ovalada o piriforme, y puede alcanzar una longitud entre 6,0 y 7,0 cm en los mejores cultivos. Posee un color de piel que varía del amarillo pálido al naranja oscuro y que llega, en algunos casos, a un color marrón claro, según su tipo de variedad. Generalmente, contiene de 1 a 5 semillas que son característicamente grandes, marrones y pueden llegar a representar del 20,0 al 30,0 % del fruto (Márquez & Pérez, 2009). La piel es dura y fina, y está cubierta con un velo gris. En estado

de madurez, este fruto se puede pelar con facilidad. El cambio de color de este fruto avanza exponencialmente desde el pedúnculo y su periodo de cosecha oscila de 60,0 a 90,0 días, dependiendo de las situaciones climáticas en las que se encuentre el cultivo (FAO, 1990; Prescott-Allen & Prescott-Allen, 1990).

El níspero crece en condiciones de clima subtropical o templado-cálido. Además, tiene la necesidad de inviernos suaves, debido a que en esa época del año es cuando se produce la fructificación. En zonas donde las temperaturas son muy elevadas o muy bajas, el níspero crece como un árbol ornamental, ya que no se cumple con las características climáticas necesarias; esto conlleva a una producción escasa, no aceptable para el comercio. En otras características como el suelo y el agua, el níspero no es muy exigente. En cuestión de suelos, puede crecer en terrenos desde arenosos hasta arcillosos. Por otra parte, el riego se debe realizar adecuadamente para obtener unos frutos uniformes y con características organolépticas en condiciones excelentes (Ramos-García, Romero-Bastida & Bautista-Baños, 2018; Márquez, Cartagena & Pérez-Gago, 2009).

La organización encargada de recopilar todos los datos de producción y exportación de frutos es la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés). Según la FAO, el principal productor de níspero en el mundo es el continente asiático con un total de 12.736.173 ton/año. En Suramérica, por otro lado, se cultivan alrededor de 1.766.650 de nísperos al año, así como otros frutos de escasa importancia como la carambola, la chirimoya, la guayaba, el mangostán y el zapote, entre otras (FAO, 1990). En lo que se refiere a Colombia, para el año 2015 se produjeron 1.120.000 ton/año. En el departamento del Atlántico, el níspero tiene una producción de 157 ton/año (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015).

La postcosecha del níspero tiene un tiempo de conservación de 2 a 4 semanas, en condiciones de temperatura de 0,0 °C y con una humedad relativa entre el 90,0 y el 95,0%. Este tiempo de conservación también va a depender del estado de madurez en que se encuentre el fruto al momento de su recolección. Si se utilizan diferentes métodos de conservación, tales como películas plásticas, recubrimientos comestibles u otros, estas condiciones van a hacer que aumente la vida útil del fruto. No obstante, a estos parámetros que se deben seguir para aumentar la vida útil del níspero, se unen otros factores que afectan sus características organolépticas; entre estos, el pardeamiento de la pulpa de este fruto durante el almacena-

miento debido a que las temperaturas muy bajas y elevadas ocasionan el deterioro de sus propiedades físicas y organolépticas. Otra alteración fisiológica es el llamado *russeting*, el cual consiste en la aparición de unas manchas de color marrón en la piel del fruto. Por último, existe una serie de hongos que causan putrefacción, tales como: *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Pestalotiopsis funerea* y *Phytophthora cactoarum*. Este efecto ocurre con más frecuencia en las zonas de lluvias constantes (DANE, 2016).

4.2.3 El cultivo de la yuca.

La yuca es un tubérculo, originario del trópico americano, que ha surgido de una relativa oscuridad en las últimas décadas para convertirse en la cuarta fuente más importante de energía alimentaria del mundo después del arroz, la caña de azúcar y el maíz (DANE, 2016). La yuca, también conocida como mandioca o casava, es originaria de Sudamérica y difundida en la actualidad en zonas tropicales en América, Asia y África. La yuca es rica en almidón y era utilizada por indígenas para la elaboración de una especie de pan, llamado casabe.

Este producto (*Manihot esculenta Crantz*) se cultiva en más de 90 países y da subsistencia a miles de personas del mundo en desarrollo. Esta raíz rústica no sólo es un alimento básico para muchas familias campesinas de escasos recursos; su materia prima sirve también para elaborar concentrados comerciales para animales, fibra para los fabricantes de papel y textiles, y almidón para la industria de alimentos y la farmacéutica (Sedeño & Maldonado, 2003).

La yuca es un cultivo rústico que se adapta a una amplia gama de condiciones agroambientales, dado que se siembra desde los 0,0 hasta los 2000,0 metros sobre el nivel del mar (msnm), en un rango de temperatura entre 20,0 y 30,0 °C, y una temperatura óptima de 24,0 °C; una humedad relativa de 50,0 a 90,0%, con un valor adecuado del 72,0%; y una precipitación de 600,0 a 3000,0 milímetros de lluvia anual, con un rango óptimo de 1000,0 a 1800,0 milímetros. Cabe indicar que la yuca muestra resistencia a la sequía gracias a sus mecanismos fisiológicos de adaptación como reducción de la lámina foliar y lóbulos, cierre de estomas, menor transpiración y toma de nutrientes, y profundización de las raíces en búsqueda de agua dentro del suelo, lo que le permite desarrollarse en climas con régimen de lluvia monomodal y veranos prolongados, como ocurre en la zona de la Orinoquia y en algunas áreas de la Costa Atlántica. Igualmente, se adapta a suelos de baja fertilidad, pH de 4,0 a 7,8 y de texturas arenosas (A), francas (F) y arcillosas (Ar) (Arismendi, 2001).

Según la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), durante el año 2014 en Colombia se obtuvo una producción de 517.489 toneladas de yuca, con rendimientos promedios de 12,4 toneladas por hectárea al año; siendo el departamento del Meta el principal productor con 174.105 toneladas —que corresponden al 33,6% de la producción total—, seguido por los departamentos del Magdalena, Sucre y Bolívar, entre otros (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2015).

4.2.4 Almidón de yuca.

El almidón es una materia prima fundamental con múltiples aplicaciones en la industria alimentaria, textil, de papel y adhesivos. Otras aplicaciones potenciales son la producción de dextrosa y derivados, así como la obtención de alcohol (Suárez & Mederos, 2011; Torrenegra *et al.*, 2016). Su producción es común en toda América Latina, particularmente en Brasil, Colombia y Paraguay. Este producto se conoce como almidón agrio, el cual es utilizado en ciertos productos de panadería. La creciente demanda de almidones para la producción alimenticia ha creado interés en nuevas fuentes de obtención de este polisacárido, a partir de materia como hojas, semillas de leguminosas y frutas (Betancourt & Guerrero, 2004). Entre las materias primas que pueden ser utilizadas como nuevas fuentes de extracción de este polímero se encuentran los tubérculos, los cuales juegan un papel significativo en el sistema global de alimentación (Torrenegra *et al.*, 2016).

El proceso de extracción de almidón de yuca presenta puntos críticos. La etapa de fermentación es la base de la producción de un almidón agrio de calidad. Uno de los factores que intervienen en la obtención del almidón de yuca es el pH de la *E. coli*, que se desestabiliza saliéndose de sus valores óptimos (entre 6 y 7). El alto contenido de humedad en las muestras analizadas genera una condición favorable para el desarrollo de microorganismos. Se evidenció, por ejemplo, que el 73.3% de las muestras presentó mohos, levaduras y *E. coli*; y el 26.6% de las muestras de almidón mostró esterilidad comercial (Aguilar, 2010).

Las modificaciones de los almidones han sido utilizadas durante mucho tiempo para mejorar las propiedades de un almidón nativo. Estas pueden ser físicas, químicas o enzimáticas. Las propiedades que generalmente mejoran con esta modificación son, a saber, espesante, aglutinante, emulgente y estabilizadora. Los métodos más utilizados para la modificación de los alimentos son los tratamientos con ácido, oxidación, sustitución, entrecruzamiento, esterificación y eterificación (Betancourt & Guerrero, 2004; Molina, 2008). Es importante resaltar que la modificación química

cambia las propiedades funcionales del almidón y también involucra las reacciones asociadas con los grupos hidroxilos de los polímeros del almidón. Los reactivos que se pueden utilizar en la modificación de los almidones son aprobados por la agencia reguladora de los Estados Unidos, es decir que no se pueden utilizar todos los reactivos químicos existentes. Estos almidones son utilizados en las industrias de pastas de tomate, gelatina, postres, entre otras (Molina, 2008). Los almidones se clasifican, según su método de modificación, como lo muestra la Tabla 1.

Tabla 1. Codificación de almidones modificados.

Código E	Nombre
1401	Almidón ácido
1402	Almidón alcalino
1403	Almidón blanqueado
1404	Almidón oxidado
1405	Almidón enzimático
1410	Fosfato monoalmidón
1412	Fosfato dialmidón
1413	Fosfato dialmidón fosfatado
1414	Fosfato dialmidón acetilado
1420	Almidón acetilado
1422	Adipato de dialmidón acetilado
1440	Hidroxipropil almidón
1442	Fosfato dialmidón hidroxipropilado

Fuente: Molina, 2008.

El proceso de oxidación da lugar a la introducción de grupos carbonilos y carboxilos dentro de las cadenas del almidón. Dependiendo de la cantidad y tipo de reactivo agregado, el almidón puede sufrir modificaciones como blanqueado u oxidación. La diferencia entre estos es que, además de cambiar de color, las modificaciones de oxidación involucran la producción de grupos carboxilos. Los agentes más utilizados en la oxidación de almidones son peróxidos, periodatos, permanganatos, dicromatos, persulfatos y cloritos (Betancourt & Guerrero, 2004; Molina, 2008).

En la oxidación con hipoclorito de sodio, hay que tener en cuenta diferentes factores que afectan su modificación, tales como el pH, la temperatu-

ra, la concentración de hipoclorito, la estructura molecular y el origen del almidón. Se estudiaron las propiedades fisicoquímicas de tres variedades de almidón de yuca (*Manihot sculenta crantz*) nativas y modificadas por hidroxipropilación. El valor de la sustitución molar (SM) de los almidones modificados se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Sustitución molar de almidones de yuca

Variedad	Sustitución Molar (SM)	Desviación
CM 7138-7	0,008	$\pm 3,294 \times 10^{-4}$
CUMBRE 3	0,007	$\pm 2,9927 \times 10^{-5}$
SM 707-17	0,010	$\pm 2,0698 \times 10^{-3}$

Fuente: Enríquez, Velasco y Fernández, 2013.

La Tabla 3 presenta el contenido de amilosa y amilopectina de las tres variedades de almidón de yuca estudiadas.

Tabla 3. Contenido de amilosa y amilopectina de los almidones.

Variedad	Amilosa (g/100 g de almidón)	Amilopectina (g/100 g de almidón)
CM 7138-7	0,008	$\pm 3,294 \times 10^{-4}$
CUMBRE 3	0,007	$\pm 2,9927 \times 10^{-5}$
SM 707-17	0,010	$\pm 2,0698 \times 10^{-3}$

Fuente: Enríquez, Velasco y Fernández, 2013.

Varias investigaciones sobre recubrimientos en frutas naturales y comestibles, con la intención de conservarlos frescos, han demostrado que estos tienen una gran ventaja, ya que son biodegradables y amigables con el ambiente, y algunos son extraídos de subproductos de la agroindustria (Castillo et al., 2018). En la Tabla 4, observamos algunas características del almidón modificado y sus propiedades térmicas.

Tabla 4. Temperaturas de transición vítrea (T_g) en almidón nativo y modificado de yuca

Variedad	Almidón Nativo	Almidón Modificado
CM 7138-7	137,58	129,54
CUMBRE 3	141,16	124,16
SM 707-17	127,63	124,85

Fuente: Enríquez, Velasco y Fernández, 2013.

4.2.5 Recubrimiento de biopolímeros para frutas.

Un recubrimiento comestible (RC) se define como el conjunto de sustancias que se agrega en la parte superficial de un alimento. Este se caracteriza por ser transparente, comestible y delgado. Los recubrimientos se aplican por medio de inmersión del alimento en la solución, con la finalidad de obtener una excelente calidad y ser utilizados como empaque. Los RC se diferencian de las películas comestibles debido a su forma de obtención y su grosor (Fernández *et al.*, 2015; Almeida Castro *et al.*, 2011). Por lo general, los RC son fabricados con polisacáridos, proteínas, lípidos, o una combinación de estos. La utilización dependerá de las ventajas que se desea obtener para el alimento y también de las características de este mismo. Además, se puede introducir plastificantes y emulsionantes a estas formulaciones para mejorar el recubrimiento. Un recubrimiento comestible se caracteriza por ser un material de empaque; además, puede ser ingerido como parte del alimento debido a que no contiene agentes tóxicos, lo cual los hace seguros para la salud. También, tiene propiedades protectoras de acción física, química y mecánica, las cuales mejoran la vida útil del alimento. Estos RC son elaborados para reducir la transferencia de humedad, gases y compuestos volátiles, lo cual, según se ha demostrado a través de estudios, puede mejorar la calidad de los alimentos (Almeida Castro *et al.*, 2011; Arismendi, 2001).

5. Metodología

La presente investigación se llevó a cabo en el departamento del Atlántico. Esta se considera de tipo descriptivo experimental. Tanto el diseño experimental como la caracterización fisicoquímica de los nísperos se llevó a cabo en los laboratorios de biotecnología y nutrición ubicados en la Universidad del Atlántico, siguiendo la metodología propuesta por Sánchez (2004) y Ascencio (2016).

5.1. Materias primas

El almidón nativo de yuca empleado es proveniente de la empresa Almidones de Sucre S.A.S, ubicada en Sincelejo, Sucre. Los nísperos utilizados, de variedad *Mespilus germanica*, fueron obtenidos del mismo lote de la bodega de frutas y verduras de OLIMPICA S.A. El suministro de níspero para esta empresa lo realiza un proveedor que los cultiva en Repelón, Atlántico.

Los nísperos poseían características similares de dureza, color (marrón-verde) y tamaño (oscilaban entre 4,0 y 5.0 cm. de diámetro); estaban libres de magulladuras y perforaciones de gusanos. Los nísperos seleccionados tenían aproximadamente 3 días de postcosecha, según las especificaciones del proveedor.

5.2. Diseño experimental

El experimento se analizó bajo un arreglo factorial 2^3 . Los factores y niveles a evaluar fueron:

- Concentración de almidón (2,0% y 4,0%)
- Concentración de cera carnauba (0,1% y 0,5%)
- Método de conservación temperatura ambiente (28° C) y temperatura refrigerada (12°C)

5.3. Diseño metodológico

5.3.1. Modificación del almidón de yuca.

La modificación por oxidación se realizó a 35° C con hipoclorito de sodio (NaOCl), siguiendo la metodología propuesta por Sánchez (2004) y Ascencio (2016). La condición de modificación del almidón se estableció a través de pre ensayos, variando la concentración de hipoclorito y el tiempo de reacción. Se aplicó un cribado 22, con un punto central, y se evaluaron parámetros tales como: solubilidad en agua fría, capacidad emulsificante, capacidad de retención de agua y grados de oxidación (carbonilos y carboxilos). El almidón de yuca se sometió a un tratamiento de oxidación con hipoclorito de sodio. Las condiciones de tratamientos se realizaron mediante pre ensayos, en los cuales se variaron las concentraciones de cloro activo. Se evaluaron diferentes parámetros como grados de oxidación, capacidad de retención de agua, capacidad emulsificante y solubilidad.

5.3.2. Preparación del almidón.

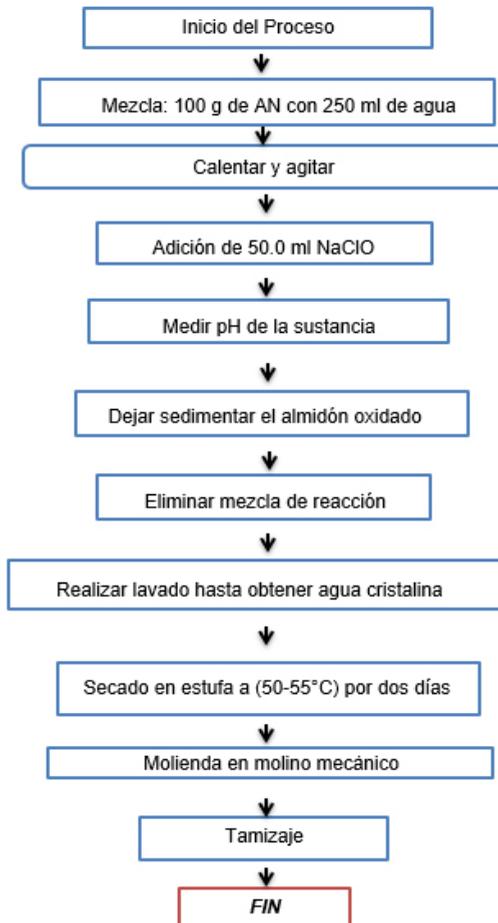
Para la preparación del almidón, se realizó la revisión de la literatura de varias metodologías. Sin embargo, se adaptó la metodología propuesta por Sánchez (2004) y Ascencio (2016). Para el presente estudio, se preparó una dispersión en la cual se mezcló 100 g de almidón y 250 ml de agua destilada. Este proceso se realizó en un vaso precipitado de 500 ml y se mezcló por agitación constante.

La mezcla anterior se colocó en una plancha de agitación con un control de temperatura y se agitó usando un IKA T25-Digital Ultraturrax (Staufen), a 7000 rpm durante 2 min, o hasta obtener homogeneidad de la dispersión. La solución de recubrimiento de yuca se dejó 24 h, hasta que no quedaron burbujas de aire producto de la agitación. En la dispersión, se introdujo un electrodo para medir el pH cada 5 minutos. Luego, la dispersión se llevó a una temperatura de 35,0° C, manteniendo la agitación

constante. Posteriormente, se adicionaron 50,0 ml de hipoclorito de sodio a una concentración de 0,50 % de cloro activo p/v en un tiempo de 30,0 minutos (5,0ml/3,0 min).

Posteriormente, se dejó sedimentar y se procedió a un lavado hasta ver el agua cristalina. El almidón oxidado (AO) se dejó secar durante 48,0 h y, por último, se molió y tamizó con un tamiz de acero inoxidable de 2 mm, para tener todas las partes homogéneas. El mismo procedimiento se realizó a concentraciones de cloro activo de 1,0 - 1,5 - 2,0 % p/v, como puede observarse en el Gráfico 1.

Gráfico 1. Diagrama de flujo preparación del almidón oxidado



5.3.3. Determinación de las propiedades funcionales del almidón modificado.

Determinación de los grados de oxidación.

La metodología utilizada para determinar los grados de oxidación en el almidón oxidado con hipoclorito de sodio se basó en los métodos descritos por Sánchez (2004) y Ascencio (2016). El contenido de carbonilo se obtuvo suspendiendo 4,0 g de almidón en 100,0 ml de agua destilada. Esto se realizó en un vaso precipitado de 500,0 ml. La suspensión se gelatinizó en un baño de agua hirviendo durante 20,0 min y posteriormente enfriada a 40,0 °C. Luego, el pH se ajustó a 3,2 con HCl a 0,1 N y se adicionaron 15,0 ml de clorhidrato de hidroxilamina. El vaso precipitado se tapó y se dejó en un baño de agua a 40,0 °C, con una agitación constante a una velocidad lenta durante 4,0 horas. El exceso de hidroxilamina se obtuvo de manera rápida con titulación de HCl a 0,1 N estandarizada. El reactivo hidroxilamina se preparó en una solución de 25,0 g del reactivo, 100,0 ml de NaOH a 0,5 N y se llevó a un vaso aforado de 500,0 ml con agua destilada.

El contenido de grupos carbonilos se calculó mediante la Ecuación 1.

$$\% \text{ contenido de carbonilo} = \frac{[(\text{blanco} - \text{muestra}) * \text{Normalidad del ácido} * 0,0028 * 100]}{\text{peso de la muestra en base seca (g)}} \quad (1)$$

Ecuación 1. Determinación porcentaje de contenido de carbonilo (Association of Official Analytical Chemist, 1990).

El contenido de carboxilo del almidón de yuca modificado se obtuvo pesando 2,0 g de la muestra del almidón y mezclándolo con 25,0 ml de HCl a 0,1 N. La dispersión se agitó esporádicamente durante 30,0 min con una plancha de agitación marca VELP SCIENTIFICA de referencia F20510011 a 1000 rpm.

La dispersión se filtró al vacío mediante un medio de 150,0 ml de porosidad; posteriormente, se realizó un lavado con 400,0 ml de agua destilada. La pasta de almidón se vertió cuidadosamente en un vaso precipitado de 500,0 ml, el cual contenía 300,0 ml de agua destilada. La dispersión de almidón se sometió a calentamiento durante un tiempo de 15,0 min para que se diera una gelatinización homogénea. Se agregaron, enseguida, 150,0 ml de agua destilada al vaso precipitado y se dejó estabilizar a una temperatura de 35,0 a 39,0°C; se valoró a un pH de 8,3 con NaOH 0,01 N. Se realizó el mismo procedimiento para todos los almidones modifica-

dos, con diferentes concentraciones, y para el almidón nativo para obtener el ensayo en blanco.

Para obtener el contenido de grupos carboxilos, primeramente, se realizó la determinación de los miliequivalentes, tal como se muestra en las Ecuaciones 2 y 3.

Mlequivalentes de ácido

$$= \frac{100 \text{ g de almidón}}{n(n-1)([\text{Muestra} - \text{Blanco}] \text{ ml} * \text{Normalidad de NaOH} * 100)} \text{ eso de la muestra en base seca (g)} \quad (2)$$

Ecuación 2. Determinación de los miliequivalentes (Association of Official Analytical Chemist, 1990).

$$\% \text{ Contenido de carboxilos} = \frac{\text{Mlequivalente de ácido}}{100 \text{ g de almidón}} * 0,045 \text{ ec} \quad (3)$$

Ecuación 3. Determinación de carboxilos (Association of Official Analytical Chemist, 1990).

Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA).

La metodología utilizada para determinar la capacidad de retención de agua en el almidón oxidado con hipoclorito de sodio se basó en los métodos descritos por Sánchez (2004) y Ascencio (2016). Para obtener la CRA del almidón modificado, se pesó 1,0 g de almidón modificado. Posteriormente, se agregaron 10,0 ml de agua destilada y se mantuvo en agitación suave la dispersión, dejando en estado de reposo a temperatura ambiente durante un día. Luego, las partículas sobrenadantes se decantaron por medio del proceso de filtración. Para finalizar, se pesó el almidón y el agua retenida. La CRA se puede expresar en la cantidad de gramos de agua retenida por gramo de sólido, como se muestra en la Ecuación 4.

$$\% \text{ CRA} \frac{\text{g}}{\text{g}} = \frac{\text{Masa de muestra con agua} - \text{Masa de agua removida}}{\text{Masa de la muestra}} \quad (4)$$

Ecuación 4. Determinación capacidad de retención de agua (Association of Official Analytical Chemist, 1990).

Determinación de la capacidad emulsificante.

La metodología utilizada para determinar los grados de oxidación en el almidón oxidado con hipoclorito de sodio se basó en los métodos descritos por Sánchez (2004) y Ascencio (2016). Se pesó 1,0 g de almidón oxidado y se vertió en un *beaker* de 100,0 ml. Luego, se agregó agua destilada para llegar a un volumen de 25,0 ml y se agitó. Posteriormente, la dispersión se mezcló con aceite vegetal en un volumen de 25,0 ml y se llevó a homogenización. La emulsión que se obtuvo se llevó a una centrifugadora HETTICH de referencia ROTOFIX 32 A en tubos de ensayos donde se depositó la emulsión y se centrifugó por 10,0 min a 4000 rpm. Por último, se midió la altura del volumen ocupado en el tubo y el que dejó la capa emulsionada. Esto se expresó como porcentaje de fase emulsionado, como se observa en la Ecuación 5.

Actividad emulsionante

$$= \frac{\text{Longitud de la capa emulsificada (cm)}}{\text{Longitud del contenido total del tubo (cm)}} * 100 \quad (5)$$

Ecuación 5. Determinación actividad emulsionante (Association of Official Analytical Chemist, 1990).

Determinación de la solubilidad en agua.

Para determinar la solubilidad, se tomaron como referencia los métodos descritos por Sánchez (2004) y Ascencio (2016). Se pesó 0,40 g de muestra de almidón modificado en base seca y se adicionó a un vaso precipitado que contenía 40,0 ml de agua destilada. Luego, se llevó a una plancha de agitación marca VELD SCIENTIFICA de referencia F20510011 a 1500 rpm. Seguidamente, se centrifugó a 3500 rpm durante 15,0 min. Se tomó una muestra de 10,0 ml de sobrenadante y se transfirió a una caja de Petri, previamente secada y pesada. Finalmente, las cajas se secaron en una estufa a 110,0 °C por 4,0 horas y se colocaron en un desecador con material desecante. El porcentaje de solubilidad se determinó por diferencia de peso de acuerdo con la Ecuación 6.

$$\text{Solubilidad} = \frac{\text{Peso de solubles} * 40}{\text{Peso de la muestra en base seca}} * 100 \quad (6)$$

Ecuación 6. Determinación de la solubilidad (Association of Official Analytical Chemist, 1990).

5.4. Materia prima

Los nísperos, provenientes de una finca ubicada en Repelón, Atlántico, fueron seleccionados por características físicas, a saber: color marrón - verde, libres de magulladuras, plagas, perforaciones de insectos, tamaño, forma, libres de pedúnculo, y peso entre 70,0 y 90,0 g.

5.4.1. Preparación del recubrimiento comestible.

Para elaborar el recubrimiento se tuvo en cuenta la metodología empleada por Ascencio (2016), y teniendo en cuenta una matriz de almidón de yuca modificado, glicerol (plastificante), cera carnauba (compuesto lipídico) y Tween 80 (emulsificante). Se preparó la suspensión de almidón a 2,0% y 4,0% p/v en agua destilada. Posteriormente, se adicionó el glicerol a 1% de concentración, la cera carnauba a (0,1 % y 0,5 %) y Tween 80 (0,1%). La suspensión se calentó a temperatura de 90,0 ° C, sometándose a una agitación constante durante 30,0 minutos hasta lograr la gelatinización.

5.4.2. Aplicación de los recubrimientos.

Los recubrimientos se aplicaron a una temperatura de 28,0° C para cada níspero, esto se realizó mediante la técnica de inmersión, con un tiempo de inmersión de 1 minuto. Posteriormente, los frutos fueron colocados en reposo sobre una superficie mallada y plana, los nísperos fueron dejados a temperatura ambiente de 31°C y secados con la ayuda de un ventilador.

5.4.3. Almacenamiento de los nísperos recubiertos.

Los nísperos recubiertos fueron almacenados en dos sistemas de conservación diferentes. Unos tratamientos se almacenaron a temperatura ambiente de 28°C, para los cuales se realizó una caja con una malla para evitar el paso de plagas voladoras; los otros tratamientos fueron almacenados en un cuarto de refrigeración, donde la temperatura era de 12 °C. En la Tabla 5, se observa la matriz de relación de los diferentes tratamientos. La primera columna expresa la codificación del tratamiento; seguidamente, se relacionan las columnas de concentración de almidón con rangos entre 2,0% y 4,0%; a su vez, la concentración de cera carnauba se varió en un 0,5% y un 0,1 %; finalmente, la última columna registra el sistema de refrigeración, que para el presente diseño experimental se codificó Tr: tratamiento refrigerado, y Ta: tratamiento ambiente.

Tabla 5. Almacenamiento de los nísperos recubiertos.

Tratamientos	Concentración almidón (%)	Concentración de cera carnauba (%)	Sistema de refrigeración
T1	2,0	0,5	Tr
T2	4,0	0,5	Tr
T3	4,0	0,1	Ta
T4	2,0	0,1	Tr
T5	2,0	0,1	Ta
T6	2,0	0,5	Ta
T7	4,0	0,1	Tr
T8	4,0	0,5	Ta
T9	Tratamiento blanco a temperatura ambiente		
T10	Tratamiento blanco a temperatura refrigerada		

Fuente: Autoría propia.

5.5. Evaluación del efecto del recubrimiento sobre las propiedades fisicoquímicas del níspero para determinar el efecto de maduración

Los siguientes análisis fueron realizados a los nísperos durante 12,0 días, tomando mediciones cada 4 días, de acuerdo con los métodos oficiales descritos por la AOAC.

5.5.1 Determinación del índice de madurez (IM) del níspero.

Para realizar el cálculo del índice de madurez de los nísperos, se determinaron los sólidos solubles totales y la acidez titulable. Luego de obtener estos valores, se reemplazaron en la ecuación 7 y se determinó el índice de madurez.

$$\text{Índice de madurez (IM)} = \frac{O_{Brix}}{\text{Acidez titulable}} \quad (7)$$

Ecuación 7. Determinación del índice de madurez (Association of Official Analytical Chemist, 1990).

5.5.2 Determinación de la acidez titulable.

Para determinar la acidez titulable, se tituló con NaOH y fenolftaleína como indicador. La muestra se preparó diluyendo 10,0 ml de pulpa de níspero en 10,0 ml de agua destilada; posteriormente, se adicionaron 3 gotas del indicador y se procedió a titular con NaOH. El porcentaje de acidez titulable se determinó empleando la Ecuación 8, basada en la AOAC 942.15.

$$\% \text{ Acidez titulable} = \frac{V_1 \text{ NaOH} \times N \text{ NaOH} \times K}{V_2(\text{Muestra})} \quad (8)$$

Ecuación 8. Determinación del porcentaje de acidez titulable
(Association of Official Analytical Chemist, 1990).

Donde:

V_1 = Volumen de NaOH consumido (mL)

V_2 = Volumen de la muestra (mL)

K = Peso equivalente ácido cítrico (0.064 g meq⁻¹)

N = Normalidad de NaOH (0.1 meq mL⁻¹)

5.5.3. Determinación de sólidos solubles totales.

Para la determinación de los sólidos solubles totales presentes en los nísperos, se utilizó un refractómetro análogo portable BRIXCO de referencia 3090, con rango de lectura de 0,0 – 45,0 %, resolución de 0,05% y lectura expresada en °Brix. Primeramente, se calibró el refractómetro con agua destilada y se colocó una pequeña muestra de la pulpa del níspero en el prisma. Posteriormente, se bajó la placa de luz diurna y se procedió a leer el valor, este procedimiento se realizó por medio de la norma AOAC 932.14C, y siguiendo los parámetros establecidos por la norma ASTM D2196-99.

5.5.4. Determinación del pH.

La determinación del pH se realizó por medio de un pH-metro. Este instrumento permitió medir de manera automática el pH de las diferentes muestras experimentales. La muestra (níspero), en forma de solución (un volumen necesario para que el electrodo del instrumento se sumerja), se deposita en un *beaker* y se pone en contacto con un electrodo. Se leyó en-

tonces en la pantalla el valor de pH determinado. Este procedimiento se realizó por medio de la norma AOAC 981.12.

5.6. Análisis estadístico

Para determinar el efecto que tienen las diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio en la modificación del almidón nativo de yuca sobre las propiedades funcionales, se tuvo en cuenta las siguientes variables de respuesta: grados de oxidación, capacidad de retención de agua, capacidad emulsificante y solubilidad. Esto se llevó a cabo por triplicado para cada almidón modificado. De igual forma, se analizaron las propiedades fisicoquímicas del nispero recubierto.

Los resultados obtenidos se estudiaron usando un análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de confiabilidad del 95,0%. Luego, se procedió a realizar la prueba de comparación de medidas de tratamientos de Tukey. El análisis estadístico se ejecutó en el software estadístico *IBM SPSS V 2017* y *Statgraphics Centurion 2017*.

6. Resultados y discusión

Determinación de la concentración de almidón adecuado para el recubrimiento comestible ideal para el níspero

En la Tabla 6, se observan las propiedades tecno funcionales del almidón de yuca modificado por el método de oxidación. Se muestra el comportamiento de las características cuando se varía la concentración de hipoclorito (*ver Anexo 1, Imagen 1 e Imagen 9*). Se pueden observar las variaciones porcentuales de las concentraciones de hipoclorito de sodio: 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%. En cuanto al tiempo de reacción empleado, se estipuló una duración de 60,0 minutos a una temperatura ambiente de 29 °C, para el cálculo de los porcentajes registrados en las columnas de: carbonilos (%), carboxilos (%), CRA (%), capacidad emulsificante (%), y solubilidad (%).

Tabla 6. Propiedades del almidón de yuca modificado para el diseño experimental.

Hipoclorito de sodio (%)	Tiempo de reacción (min)	Carbonilos (%)	Carboxilos (%)	CRA (%)	Capacidad emulsificante (%)	Solubilidad (%)
0,5%	60	0,015	0,035	87,190	22,435	1,313
		0,018	0,038	86,786	22,104	1,318
		0,023	0,040	86,476	21,992	1,320
1,0		0,032	0,048	75,893	17,873	1,354
		0,040	0,050	75,543	17,650	1,360
		0,043	0,055	75,117	17,265	1,363
1,5		0,061	0,059	63,243	11,994	1,376
		0,063	0,063	63,034	11,875	1,381
		0,068	0,068	62,754	11,801	1,384
2,0		0,081	0,075	55,653	7,164	1,402
		0,083	0,080	55,342	6,998	1,416
		0,090	0,082	55,071	6,893	1,433

Fuente: Elaboración propia.

En los resultados de la Tabla 6, el porcentaje de hipoclorito presentó diferencias estadísticamente significativas entre las variaciones de $p > 0,0001$ (ver *Anexo 1*). Las variaciones reportadas en las diferentes variables presentaron un aumento de 21%, con respecto a los resultados reportados por Ascencio (2016).

Con respecto a los cálculos de las propiedades funcionales de almidones modificados por oxidación, se encontraron también hallazgos interesantes. Comparativamente, los almidones oxidados con concentraciones altas de hipoclorito de sodio poseen mayor cantidad de almidón, una baja capacidad de retención de agua, y un incremento por más del 45,0% de los valores del grupo carbonilos y carboxilos, tal como los reporta Sánchez (2004). Estudios reportan un incremento en el porcentaje de solubilidad al emplear las mismas concentraciones de agente oxidante en almidón de maíz, el cual presentó un aumento del 14,5%, con respecto al nativo propuesto por Wang y Wang (2003). Esto se debe probablemente al debilitamiento de los gránulos de almidón durante la oxidación con hipoclorito, lo cual conduce a una mejor solubilidad.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del ANOVA realizado con el objetivo de conocer las diferencias significativas entre las propiedades del almidón de yuca modificado. Para realizar esta prueba, se tuvieron en cuenta la normalidad y la homogeneidad de los datos, que son prerequisites para realizar el análisis ANOVA; seguidamente, se realizó la prueba ANOVA. Finalmente, para determinar si existe diferencia significativa entre las propiedades del almidón de yuca modificado y las variaciones de hipoclorito de sodio, se realizó una prueba post hoc (Tukey).

Influencia de la concentración de hipoclorito de sodio sobre el porcentaje de carbonilos y carboxilos.

De acuerdo con la Tabla 7, donde se exponen las comparaciones múltiples entre concentraciones de hipoclorito y carbonilos con los resultados del análisis de varianza del carbonilos y carboxilos, se encontró que existen diferencias significativas entre los grupos analizados ($p=0,0001$) para ambos (ver Anexo 3A). Todos los factores (concentración de oxidante y tiempo de reacción), y sus interacciones, tuvieron efecto sobre el porcentaje de grupos de carbonilo y de carboxilo del almidón oxidado con hipoclorito de sodio (Wang & Wang, 2003).

Tabla 7. Comparaciones múltiples entre concentraciones de hipoclorito y carbonilos.

(I) Hipoclorito	(J) Hipoclorito	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	p-valor
Concentración 0,5%	Concentración 1%	-0,019667*	0,003742	0,003
	Concentración 1,5%	-0,045333*	0,003742	0,001
	Concentración 4%	-0,066000*	0,003742	0,001
Concentración 1,0%	Concentración 0,5%	0,019667*	0,003742	0,003
	Concentración 1,5%	-0,025667*	0,003742	0,001
	Concentración 4%	-0,046333*	0,003742	0,001
Concentración 1,5%	Concentración 0,5%	0,045333*	0,003742	0,001
	Concentración 1%	0,025667*	0,003742	0,001
	Concentración 4%	-0,020667*	0,003742	0,002
Concentración 2,0%	Concentración 0,5%	0,066000*	0,003742	0,001
	Concentración 1%	0,046333*	0,003742	0,001
	Concentración 1,5%	0,020667*	0,003742	0,002

Fuente: Elaboración propia.

La concentración de hipoclorito de sodio fue el factor con mayor efecto para ambas variables, similar a lo reportado por otros estudios donde el porcentaje de carbonilos está influenciado sólo por la concentración de cloro, obteniéndose valores bajos con concentraciones de hipoclorito del 0,5%. Los resultados obtenidos, en particular con el almidón de cebada, evidencian que, a medida que se aumentó la oxidación del almidón, los valores de carbonilos y carboxilos aumentaron proporcionalmente un 15,0 %; caso similar se dio con el almidón de maíz, que mostró un aumento del 20,0% en el porcentaje de grupos carbonilos y carboxilos (Kuakpetoon & Wang, 2001; Chávez-Murillo, Wang & Bello-Pérez, 2008). Los valores obtenidos en cuanto al contenido de grupos carbonilos y carboxilos coinciden con lo reportado en la literatura, donde se afirma que el proceso de oxidación en medio ácido favorece la formación de grupos carbonilos, mientras que en medio básico se favorecen los grupos carboxilos (Rutenberg & Solarek, 1984).

Puede resumirse, de manera general, que la presencia de los grupos carbonilos es el factor principal que regula las propiedades del almidón. Por lo tanto, es de gran importancia la determinación de esta propiedad para la caracterización del almidón oxidado y, como criterio de control, para evaluar la efectividad del proceso de reacción, tal como lo reporta Molina (2008) en su investigación Síntesis y caracterización del almidón oxidado para su posterior evaluación como agente aglutinante en tabletas, donde afirma que en la medida en que se incrementa el contenido de grupos carbonilos, también se incrementa el de grupos carboxilos. Sin embargo, estos últimos se encuentran en una proporción considerablemente menor (Rutenberg & Solarek, 1984). El porcentaje de carbonilos para la presente investigación no está influenciado sólo por la concentración de cloro (ver *Anexo 3A*), obteniéndose valores bajos con concentraciones de hipoclorito del 0,5%, la tendencia general que mostraron los carbonilos fue el incremento directamente proporcional a la concentración de hipoclorito de sodio. Esta tendencia se reporta en otros trabajos con almidones oxidados con hipoclorito de sodio de papa, maíz, arroz y amaranto (Kuakpetoon & Wang, 2001; Chávez-Murillo, Wang & Bello-Pérez, 2008; Wang & Wang, 2003). Por otra parte, en el grupo carboxilos resultó significativa la interacción entre grupos y dentro de grupos (ver *Anexo 3B*), obteniendo la menor media el tratamiento 0,5% y 1,0%, con 60,0 min de reacción. Estudios relacionados con los almidones de papa, maíz y plátano revelan aumentos en los grupos carbonilos y carboxilos al pasar de concentraciones de 0,5 a 1,5% de cloro activo.

Como puede observarse en la Tabla 8, los resultados de la prueba post hoc HSD Tukey arrojaron que, en las comparaciones múltiples entre la variable independiente (concentración de hipoclorito) y la dependiente (carboxilos), se evidenció que existen diferencias significativas en la formación de grupos carboxilos para cada variación en la concentración de hipoclorito (Kuakpetoon & Wang, 2001; Chávez-Murillo, Wang & Bello-Pérez, 2008; Wang & Wang, 2003).

Tabla 8. Comparaciones múltiples entre concentraciones de hipoclorito y carboxilos.

(I) Hipoclorito	(J) Hipoclorito	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	p- valor
Concentración 0,5%	Concentración 1%	-0,013333*	0,002963	0,009
	Concentración 1,5%	-0,025667*	0,002963	0,001
	Concentración 4%	-0,041333*	0,002963	0,001
Concentración 1,0%	Concentración 0,5%	0,013333*	0,002963	0,009
	Concentración 1,5%	-0,012333*	0,002963	0,013
	Concentración 4%	-0,028000*	0,002963	0,001
Concentración 1,5%	Concentración 0,5%	0,025667*	0,002963	0,001
	Concentración 1%	0,012333*	0,002963	0,013
	Concentración 4%	-0,015667*	0,002963	0,003
Concentración 2,0%	Concentración 0,5%	0,041333*	0,002963	0,001
	Concentración 1%	0,028000*	0,002963	0,001
	Concentración 1,5%	0,015667*	0,002963	0,003

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran distintas relaciones entre el contenido de grupos carboxilo y carbonilo para los distintos tratamientos. Aunque ha sido reportado que el tipo y cantidad de grupos funcionales dependen de diversos factores, la relación entre la formación de grupos carbonilo y carboxilo durante la oxidación aún no es completamente entendida (Torrenegra, 2016). Algunos estudios proponen una reacción consecutiva en la cual los grupos hidroxilo presentes en las moléculas de almidón son oxidados a grupos carbonilo, los cuales, en una etapa posterior, son oxidados a grupos carboxilo (Molina, 2008; FAO, 1990). Sin embargo, otros autores afirman que, dependiendo del tipo de oxidante y las condiciones de proceso,

ocurren reacciones paralelas en las que grupos carbonilo y carboxilo son formados selectivamente por oxidación de los grupos hidroxilo en ciertas posiciones de la molécula glucosídica (Torrenegra et al., 2016).

Influencia de la concentración de hipoclorito de sodio sobre las variables capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad emulsificante (CE).

Las variables operacionales del secado, como la temperatura y el flujo de aire empleado, afectan significativamente la calidad final del producto, por lo que es importante utilizar índices numéricos para observar este efecto. La CRA, un parámetro físico-químico importante por su contribución a la calidad de la fruta, está relacionada con la estructura, tejido y capacidad de mantener el agua absorbida por la fruta. Este indicador puede verse afectado y aumentar o disminuir ya sea por una desnaturalización de proteínas, por efecto del calor, concentración de sales, desorción de agua, destrucción de pectinas y membranas celulares (San Juan et al., 2001). Como puede observarse en la Tabla 9, existe una diferencia significativa ($p < 0,0001$) (Ver Anexo 3C) en la disminución de la capacidad de retención de agua con el aumento de la concentración de hipoclorito de sodio. Para la presente investigación, se busca identificar el punto óptimo de CRA con respecto a las variaciones en las concentraciones de hipoclorito de sodio, descartando inicialmente la concentración al 2,0% puesto que disminuye en gran proporción los índices de retención de agua, siendo alternativas de selección las concentraciones 1,5%, 1,0%, y 0,5%.

Tabla 9. Comparaciones múltiples entre concentraciones de hipoclorito y capacidad de retención de agua CRA.

(I) Hipoclorito	(J) Hipoclorito	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	p-valor
Concentración 0,5%	Concentración 1%	11,299667*	0,265903	0,001
	Concentración 1,5%	23,807000*	0,265903	0,001
	Concentración 2%	31,462000*	0,265903	0,001
Concentración 1%	Concentración 0,5%	-11,299667*	0,265903	0,001
	Concentración 1,5%	12,507333*	0,265903	0,001
	Concentración 2%	20,162333*	0,265903	0,001

Concentración 1,5%	Concentración 0,5%	-23,807000*	0,265903	0,001
	Concentración 1%	-12,507333*	0,265903	0,001
	Concentración 2%	7,655000*	0,265903	0,001
Concentración 2%	Concentración 0,5%	-31,462000*	0,265903	0,001
	Concentración 1%	-20,162333*	0,265903	0,001
	Concentración 1,5%	-7,655000*	0,265903	0,001

Fuente: Elaboración propia.

Al contrastar los resultados obtenidos con otros estudios realizados con almidón nativo de yuca, se establece que la mayor CRA se obtuvo con bajas concentraciones de cloro (0,5%) y tiempo de reacción (60,0 min), presentando un valor 118,0% mayor que el almidón nativo (Ascencio, 2016). La capacidad de retención de agua (CRA) y la capacidad de emulsificante (CE) fueron influenciadas por la interacción de ambos factores (tiempo de reacción y concentración de cloro) (ver *Anexo 3C* y *Anexo 3D*). La mayor CRA se obtuvo con bajas concentraciones de cloro (0,5%) y tiempo de reacción (60 min), presentando un valor entre 75% y 88% mayor que el almidón nativo, tal como lo reportaron Ramos-García, Romero-Bastida y Bautista-Baños (2018). La capacidad de retención de agua del almidón de yuca modificado, utilizado en el diseño experimental, se incrementó a medida que se aumentaba la concentración de hipoclorito de sodio, la oxidación debilita la estructura de los gránulos de almidón, lo que disminuye su capacidad de retención de agua. Cuando se varía la concentración de hipoclorito de sodio de 0,5% al 1,0%, la CRA se reduce en un 13,0%; mientras que de 1,0 % a 1,5% la CRA con almidón de yuca oxidado al 0,5% al 1,0% es del 11,5%. Finalmente, cuando se varía la concentración de 1,0% al 2,0%, los porcentajes de variación coinciden con los reportados por Sánchez (2004), quien muestra un aumento promedio del 16,0%, por variación de hipoclorito de sodio. No obstante, esta variación estuvo sujeta a cambios de temperatura, siendo la mayor variación del 20,0%, a temperaturas de 95,0 °C.

Otro estudio realizado con almidón de frijol reportó un comportamiento similar para almidón de frijol modificado con 1,0% de NaOCl y 90,0 minutos de reacción, lo que indica que estas condiciones de modificación le confieren al almidón estabilidad en la humedad y buenas propiedades emulsionantes (Zhang, Wang, Zhao & Wang, 2012). En otros estudios realizados, se ha reportado que la mayoría de almidones oxidados gelatinizan a menor temperatura que los almidones nativos, debido a que la oxidación promueve una mayor capacidad de absorción de agua.

Así mismo, son considerados como dispersiones acuosas de mayor claridad, con altas concentraciones de sólidos, menos viscosidad y con mayor tendencia a retrogradación. Es por esta razón que las pastas de almidón oxidado son más fluidas (Sánchez, 2004; Díaz & Carreras, 1999).

De acuerdo con los resultados del análisis ANOVA, se encontró que existen diferencias significativas entre los almidones modificados a diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio, la capacidad emulsificante para cada variación tiene diferencias significativas ($p=0,0001$) (ver Anexo 3D), los factores (concentración de oxidante y tiempo de reacción) y sus interacciones tuvieron efecto sobre el porcentaje de la capacidad emulsificante del almidón oxidado con hipoclorito de sodio. La Tabla 10 nos indica los resultados de la prueba post hoc: HSD Tukey. Se observa que en las comparaciones múltiples entre la variable independiente (concentración de hipoclorito) y la dependiente (capacidad emulsificante), las comparaciones múltiples entre las diferentes concentraciones y la capacidad emulsificante arrojaron que existe diferencia significativa entre las variaciones de almidón.

Tabla 10. Comparaciones múltiples entre concentraciones de hipoclorito y capacidad emulsificante.

(I) Hipoclorito	(J) Hipoclorito	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	p- valor
Concentración 0,5%	Concentración 1%	4,581000*	0,171179	0,001
	Concentración 1,5%	10,287000*	0,171179	0,001
	Concentración 2%	15,158667*	0,171179	0,001
Concentración 1,0%	Concentración 0,5%	-4,581000*	0,171179	0,001
	Concentración 1,5%	5,706000*	0,171179	0,001
	Concentración 2%	10,577667*	0,171179	0,001
Concentración 1,5%	Concentración 0,5%	-10,287000*	0,171179	0,001
	Concentración 1%	-5,706000*	0,171179	0,001
	Concentración 2%	4,871667*	0,171179	0,001
Concentración 2,0%	Concentración 0,5%	-15,158667*	0,171179	0,001
	Concentración 1%	-10,577667*	0,171179	0,001
	Concentración 1,5%	-4,871667*	0,171179	0,001

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que no existen diferencias significativas entre los grupos de tratamiento en cuanto a la capacidad emulsificante, algo diferente a lo reportado en otros estudios, donde la mayor CE se obtuvo a concentraciones bajas de cloro (0,5%) y tiempo de reacción alto (90 min), y fue 157,0% mayor que la del almidón nativo (Zhang, Zhang, Wang, & Wang, 2009). Un comportamiento similar se obtuvo para almidón de frijol modificado con 1% de NaOCl y 90,0 minutos de reacción, lo que indica que estas condiciones de modificación le confieren al almidón estabilidad en la humedad y buenas propiedades emulsionantes (Zhang *et al.*, 2009). La mayor CE se obtuvo a concentraciones bajas de cloro (0,5%) y tiempo de reacción alto (60 min), y fue 87,0% mayor que la del almidón nativo de papa reportado por Pardo, Castañeda y Ortiz (2013) y mayor que el almidón de yuca reportado por Zhang *et al.* (2009). Otros estudios hechos con almidón de frijol modificado, con una concentración del 1,0% NaOCl, confieren al almidón estabilidad en la humedad y buenas propiedades emulsionantes, dado lo anterior se puede confirmar por medio de los resultados de otros autores que el almidón brinda la capacidad a la hora de mantener la estabilidad de la humedad, mientras que la buena capacidad emulsificante revela su potencial emulsificante, lo cual es favorable al momento de emplearse como matriz en recubrimientos (Adebowale, Afolabi & Olu-Owolabi, 2006).

Influencia de la concentración de hipoclorito de sodio sobre la variable solubilidad.

El índice de solubilidad representa la cantidad de moléculas de almidón que han sido solubilizadas a cierta temperatura. La solubilidad que presentaron los almidones de yuca en las diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio fue mayor a la del almidón nativo (Zhang *et al.*, 2012).

Los resultados del análisis ANOVA mostraron que existen diferencias significativas entre los almidones modificados a diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio. La solubilidad para cada variación tiene diferencias significativas ($p=0,0001$) (ver *Anexo 3E*). Los factores (concentración de oxidante y tiempo de reacción) y sus interacciones tuvieron efecto sobre el porcentaje de solubilidad del almidón oxidado con hipoclorito de sodio.

El porcentaje de solubilidad presentó diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes variaciones de hipoclorito de sodio ($p>0,05$) (ver *Anexo 3E*). Los reportes realizados sobre el comportamiento de la solubilidad del almidón nativo de yuca con respecto al almidón nativo son

de 0,57%; según lo reportado por Zhang *et al.* (2012), presentó un aumento de 110,0%. Según Wang y Wang (2003), el porcentaje de solubilidad, al emplear las mismas concentraciones de agente oxidante en almidón de maíz, presentó un aumento del 19,0% con respecto al almidón de yuca nativo.

Como se observa en la Tabla 11, los valores de solubilidad obtenidos tuvieron un incremento directamente proporcional, conforme al aumento de la concentración de hipoclorito de sodio. Este comportamiento se observó en otros estudios con almidones de papa, maíz, arroz y amaranto, en los cuales se registraron valores entre 15,0% y 29,0% con respecto al almidón de yuca nativo. Sin embargo, cabe aclarar que en estos diseños experimentales se sometieron las variaciones de hipoclorito a temperaturas altas y bajas (Kuakpetoon & Wang, 2001; Chávez-Murillo, Wang & Bello-Pérez, 2008; Wang & Wang, 2003).

Tabla 11. Comparaciones múltiples entre concentraciones de hipoclorito y solubilidad.

(I) Hipoclorito	(J) Hipoclorito	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.
Concentración 0,5%	Concentración 1%	-0,042000*	0,006968	0,001
	Concentración 1,5%	-0,063333*	0,006968	0,001
	Concentración 2%	-0,100000*	0,006968	0,001
Concentración 1%	Concentración 0,5%	0,042000*	0,006968	0,001
	Concentración 1,5%	-0,021333	0,006968	0,061
	Concentración 2%	-0,058000*	0,006968	0,001
Concentración 1,5%	Concentración 0,5%	0,063333*	0,006968	0,001
	Concentración 1%	0,021333	0,006968	0,061
	Concentración 2%	-0,036667*	0,006968	0,003
Concentración 2%	Concentración 0,5%	0,100000*	0,006968	0,001
	Concentración 1%	0,058000*	0,006968	0,001
	Concentración 1,5%	0,036667*	0,006968	0,003

Fuente: Elaboración propia.

6.1. Análisis de los resultados de los diferentes tratamientos sobre los grados Brix del níspero

6.1.1 Estado de los grados Brix del níspero en relación con los tratamientos (día 4, 8, 12).

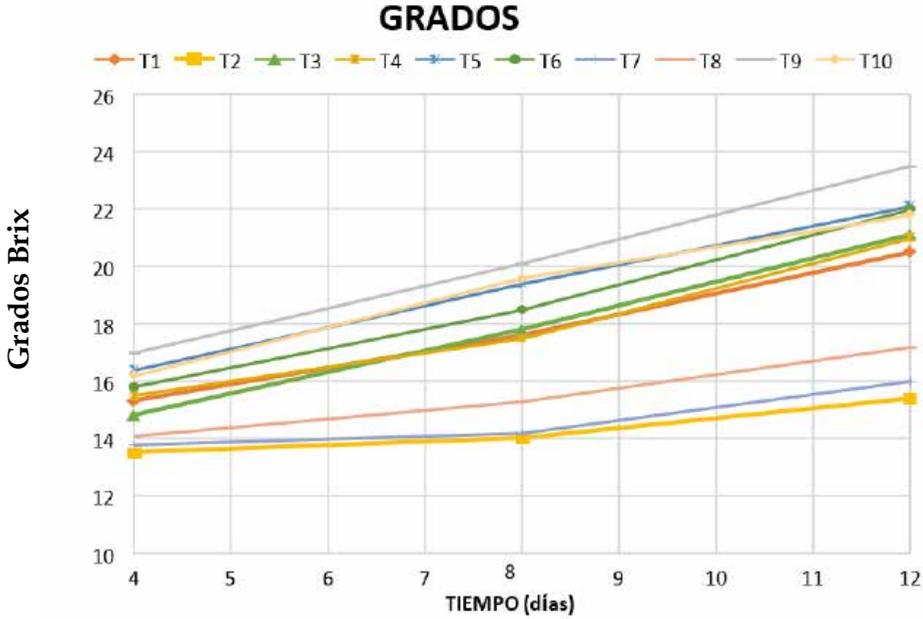
En el sector de alimentos, la escala Brix se utiliza para medir la cantidad aproximada de azúcares en zumos de fruta, vino o líquidos procesados dentro de la industria agroalimentaria. Hace referencia al contenido de azúcares y se utiliza para hacer un seguimiento in situ a la evolución de la maduración de frutos y su momento óptimo de recolección. Para la medición de los grados Brix en este estudio, los frutos se colocaron sobre las bandejas con su ápice hacia abajo.

Análisis de los grados Brix (día 4, 8, 12).

La variación de los tratamientos utilizados estuvo enfocada en las variables, almidón, cera carnauba y temperatura. Se observa, en el Gráfico 2, que entre el día 4 y el día 12 hubo un aumento progresivo en los valores de SST, variando de 13,5% a 17,0% °Brix. Este aumento se debe a la hidrólisis de almidones, propia del proceso de maduración de frutos climatéricos. Se puede evidenciar que, en el tratamiento T2, la fruta conserva un porcentaje de grados Brix del 13,5%, siendo este el valor mínimo registrado; y el tratamiento T9 (Blanco), presenta el valor máximo, con 17,0%. En promedio, se tiene un 15,24% de grados Brix para todos los tratamientos empleados.

Otros estudios en frutas reportaron una caída de los valores de sólidos totales y de la acidez titulable después del séptimo día de almacenamiento en mango cortado recubierto con quitosano. Sin embargo, para el caso del níspero, se presentó aumento de los SS a partir del día 8 de almacenamiento.

Gráfico 2. Comportamiento de los grados Brix según tiempo de almacenamiento.



Al cuarto día, los frutos cubiertos con solución de almidón con el tratamiento T2 no presentaron formación de hongo por exceso de humedad. Esto coincide con lo reportado por Mahovic, Sargent, Bartz y Lon Kan (2002), en su estudio de aplicación de recubrimientos a tomates, donde el cuarto día de estancia no se presentó ningún tipo de formación por hongos o patógenos externos. En el octavo día, en el T9 (tratamiento blanco), hubo un incremento que fue generado posiblemente por la exposición excesiva al oxígeno, daño que rápidamente llegó a ser cubierto por un moho de color marrón oscuro o negro (véase *Anexo 1* e *Imagen 13*). En los días 8 y 12, se presentó un incremento en los grados Brix debido a la evolución en la madurez. Este incremento fue más notorio en los tratamientos T3, T5 y T6, debido a que no estaban refrigerados; esta fue una de las características más influyentes. Por otro lado, durante el mismo periodo, en los tratamientos T1, T2, T7 y T8, que poseían un recubrimiento rico en almidón de yuca modificado y/o estaban refrigerados, el incremento de los grados Brix fue menor, comportamiento similar al observado en

diversas frutas evaluadas. No obstante, el tratamiento T7 presentó un buen comportamiento de los grados Brix, en relación con el tiempo de almacenamiento. Esto se debe a la alta concentración de almidón y cera carnauba. Con respecto a la diferencia porcentual entre los grados Brix, el tratamiento T2 está 3% por encima del tratamiento T7, que es el tratamiento que registra valores similares para los días 4, 8 y 12.

El análisis estadístico indicó que los grados Brix presentan diferencias significativas ($p=0,0001$) en la concentración de almidón para los días 8 y 12. De igual manera, para la concentración de cera carnauba y temperatura, las interacciones entre estas también presentaron diferencias significativas: las interacciones concentración de cera carnauba*Almidón, Almidón*Temperatura, y sistema de temperatura*concentración de cera carnauba, con diferencias significativas de ($p=0,0001$) (ver *Anexo 4A*) (Oliveira & Cereda, 2003; Canto-Pereira *et al.*, 2006; Reis *et al.*, 2006).

Para el día 4, se evidenció que no hubo diferencia, pues el valor $p=0,2067$ es mayor a 0,05, lo que significa que no hubo interacción del almidón, la cera y la temperatura (ver *Anexo 4A*). Esto indica que los efectos del recubrimiento con almidón oxidado sobre los grados Brix, para el día 4, son muy bajos, menor al 10,0% entre tratamientos. Para el día 8, existe una diferencia entre los valores de grados Brix del 27,0%, esto sin tener en cuenta el tratamiento T9 que lixivió con unos grados Brix de 20,1 %. Según otros autores, el tratamiento elaborado con almidón oxidado y el compuesto lipídico (AOL) hacen que los recubrimientos de almidón de yuca, formulados con glicerol y cera carnauba (compuesto lipídico), mejoren las propiedades de barreras de gases del revestimiento, permitiendo disminuir la tasa de respiración en manzanas mínimamente procesadas (Chiumarelli & Hubinger, 2012).

Finalmente, con respecto a las variables experimentales y sus interacciones, se aprecia a las variables A (Almidón) y C (temperatura), en el día 4 y 8, distante de la línea central de datos. Por consecuencia, se consideran factores determinantes en los efectos de maduración de la fruta bajo la película de almidón de yuca. Para el día 8, los valores se ajustan más a la recta y solo la variable almidón sigue siendo determinante en esta etapa del experimento (ver *Anexo 6A*).

Se identificó el punto óptimo para cada variable según el tratamiento, tal como se observa en la Tabla 12. El objetivo es buscar minimizar los grados Brix para evitar la maduración temprana del fruto. Para ello, se realizó la prueba de optimización para los días 4, 8 y 12. El tratamiento T2

obtuvo un índice de grados Brix bastante menor en comparación con los demás tratamientos, esto debido al método de conservación y a las cantidades de almidón oxidado y cera carnauba que poseía el recubrimiento.

En la Tabla 12, se observa que la relación del tratamiento óptimo para la conservación de grados Brix es el tratamiento T2. Este mostró mejor resultados al día 4, 8 y 12. El resultado obtenido en el análisis estadístico plantea la conveniencia de incrementar las 3 variables para aumentar el nivel de oxidación, por lo que resulta particularmente importante la posibilidad de incrementar la concentración de almidón y cera carnauba. Desde el punto de vista industrial, permite aprovechar de forma más adecuada la capacidad de los reactores donde se llevaría a cabo el proceso.

Tabla 12. Minimizar grados Brix.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Almidón	2,0	4,0	4,0
Cera	0,1	0,5	0,5
Temperatura	-1,0	1,0	1,0

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Análisis de los diferentes tratamientos sobre la acidez del níspero

6.2.1. Estado de la acidez del níspero en relación con los tratamientos (día 4, 8, 12).

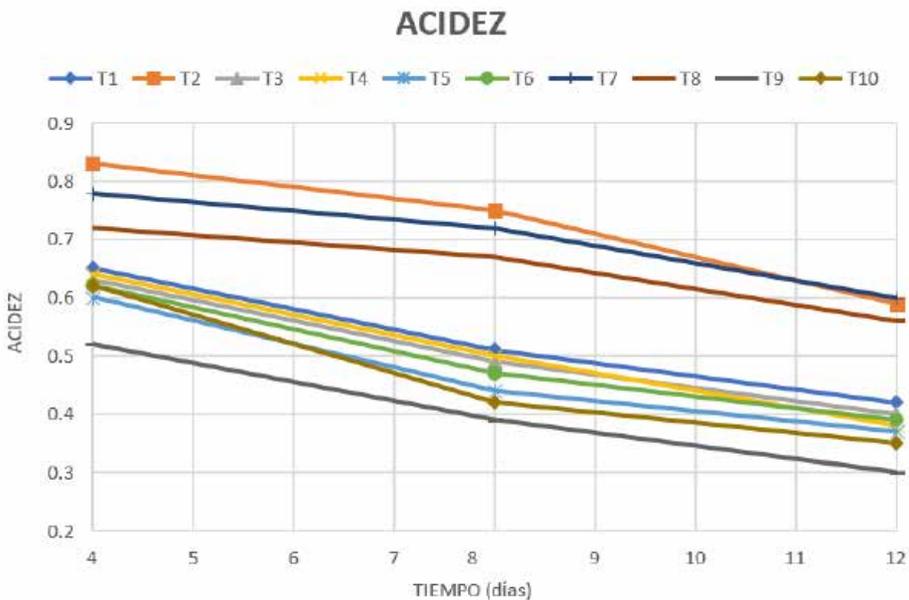
Según la Norma Técnica Colombiana NTC 218, la *acidez titulable* (AT) es la cantidad total de ácido en una solución determinada por titulación, usando una solución estándar de hidróxido de sodio (titulante).

Análisis de la acidez titulable del níspero (día 4, 8, 12).

Como se observa en la Gráfica 3, al cuarto día de almacenamiento se presenta un valor mínimo de acidez titulable de 0,52 en el tratamiento T9 (tratamiento blanco) y un valor máximo de acidez titulable 0,83 para el tratamiento T2; los tratamientos T1, T3, T4, T5, T6, T10 registraron un

índice de acidez titulable $0,65 \pm 0,4,0$. Para el día 8 y 12, se observó que todos los tratamientos presentaron una disminución de la AT. Esto se explica con la relación inversamente proporcional entre la maduración y la acidez: a medida que el fruto se hace más maduro, la acidez disminuye.

Gráfico 3. Comportamiento de la acidez titulable según tiempo de almacenamiento.



Fuente: Elaboración propia.

El tratamiento T9 (tratamiento blanco) pasó de tener una acidez titulable 0,52, el día 4, a 0,42 el día 8, el cual lixivió. Al día 12, presentó acidez titulable 0,52, con presencia de larvas, generadas posiblemente por moscas u otro tipo de insecto (ver *Anexo 1* e *Imagen 17*).

Los frutos sin cobertura presentaron mayor variación en el porcentaje de ácido cítrico, puesto que fueron afectados por hongos y bacterias durante la maduración, causando la disminución en la cantidad de ácido. Caso contrario a lo reportado en otras investigaciones, en las cuales la cantidad de ácido disminuyó, posiblemente porque durante el proceso de respiración se generan ácidos orgánicos que se volatilizan (Reis *et al.*,

2006). El análisis estadístico ANOVA indicó que el porcentaje de acidez presenta diferencias significativas ($P < 0,05$). De igual manera, presentó diferencias significativas entre tratamientos con un p valor de $P < 0,05$, lo cual demuestra que los recubrimientos ayudaron a disminuir la $P < 0,05$, como se indicó en la sección del estudio del pH (ver anexo 4B).

Los resultados del ANOVA indican que, en las variaciones de los tratamientos, solo el tratamiento T2 mostró mejores resultados en cuanto a la disminución de la acidez a lo largo del tiempo. Se puede establecer que la diferencia en la acidez entre el tratamiento T2 y el tratamiento T9 (tratamiento blanco) es casi del 40,0%; el tratamiento T7 muestra buena respuesta, manteniendo una diferencia del 10,0% sobre el tratamiento T2.

Por último, se observa la dispersión dentro de la línea central del almidón y la temperatura. Esto refleja la persistencia y la importancia de estas dos variables dentro del proceso de maduración y conservación del níspero (ver Anexo 6B). El objetivo es encontrar el punto óptimo para maximizar la acidez y, de esta manera, evitar la maduración temprana del fruto. Para ello, se realizó la prueba de optimización para los días 4, 8 y 12. El tratamiento T2 obtuvo un índice óptimo de acidez en comparación con los demás tratamientos, esto debido al método de conservación y a las cantidades de almidón oxidado y cera carnauba que poseía el recubrimiento.

Para la acidez, se realizó la prueba de optimización, tal como se observa en la Tabla 13. Al igual que en la prueba anterior, el tratamiento T2 mostró mejores resultados al día 4, 8 y 12.

Tabla 13. Tratamiento maximizar índice de acidez.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Almidón	2,0	4,0	4,0
Cera	0,1	0,5	0,5
Temperatura	-1,0	1,0	1,0

Fuente: Elaboración propia.

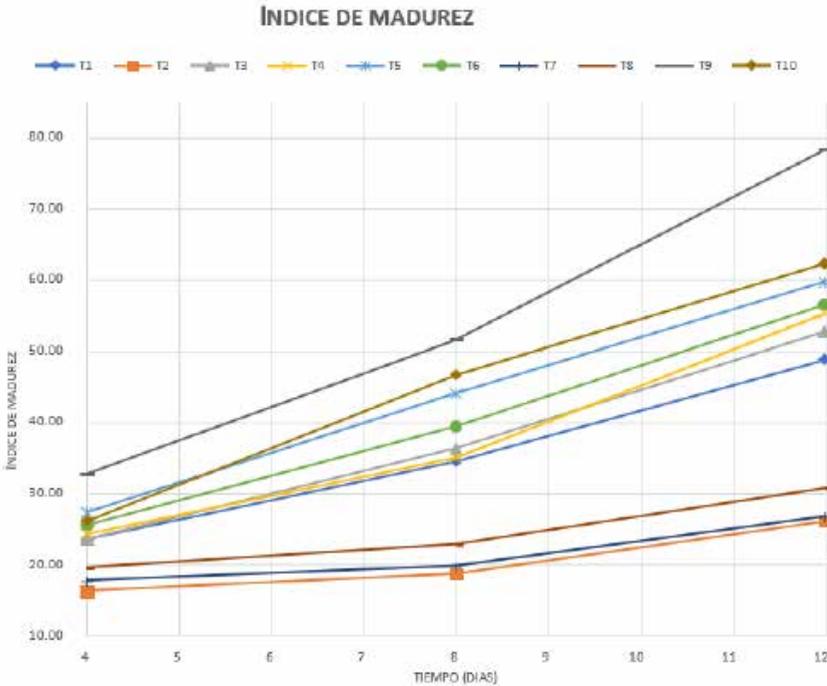
6.3. Análisis del índice de madurez del níspero en relación con los tratamientos experimentales

La madurez de un fruto perecedero tiene una marcada influencia sobre la calidad y vida útil en almacenamiento y afecta el manejo postcosecha, el transporte y el mercadeo. Además, conocer las mediciones de madurez es un punto central de la tecnología de postcosecha (Reid, 2002). La necesidad del estudio de los índices de madurez se realiza para asegurar una calidad mínima aceptable para el consumidor y una larga vida de almacenamiento. Numerosos investigadores han intentado establecer índices de calidad y métodos de medida que permitiesen objetividad en la determinación de la calidad en frutas y hortalizas, pero todavía no se ha podido establecer criterios que permitan interrelacionar los diferentes factores que integran la calidad sensorial (Romojaro *et al.*, 1996).

6.3.1. Análisis del índice de madurez (relación sólidos solubles / acidez) del níspero (día 4, 8, 12).

Entendiendo el índice de madurez como una variable dependiente de la relación sólidos solubles / acidez, se puede establecer que entre más baja sea la acidez, más maduro está el fruto. Para los tratamientos después del día 4, se registró una media ponderada del IM: $23,6 \pm 1,5$; el valor mínimo lo presentó el T2 con un IM: 16,27, y el IM más elevado lo presentó el T9 con un IM: 32,69, tal como se observa en la Gráfica 4. Para el día 8, se presentó un aumento del IM, casi del 35,0%, para los tratamientos T1, T3, T4, T5, T6, T9, T10. Sin embargo, los tratamientos T2 y T7 solo sufrieron un aumento del IM sobre el 10,0%. El tratamiento T9 lixivió al día 8 con un IM: 51,54. Para el día 12, puede observarse que 5 de los 10 tratamientos lixiviaron, T3, T5, T6, T9, T10; el porcentaje de IM para todos los casos está por encima del 52,0 %. Comportamientos similares fueron registrados por el mango, variedad zapote y variedad ataulfo, recubiertos con almidón de papa y quitosano, respectivamente (Trujillo, Pérez, & Duran, 2012; Muy Rangel *et al.*, 2009).

Gráfico 4. Comportamiento del índice de madurez según tiempo de almacenamiento.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis estadístico indica que el índice de madurez presenta diferencias significativas ($P < 0,05$) en concentración de almidón oxidado, concentración de cera carnauba y temperatura. Sin embargo, en las interacciones de estas no se presenta diferencia significativa: almidón*cera ($p = 0,1478$), almidón*temperatura ($p = 0,0132$), cera*temperatura ($p = 0,0202$); caso contrario ocurre en las interacciones concentración de cera carnauba*almidón ($P \geq 0,05$) (ver Anexo 4C).

El resultado del ANOVA indica que el T2 finalmente es el tratamiento con mejores resultados en el diseño experimental. Asimismo, se observa que los tratamientos elaborados con almidón oxidado y el compuesto lipídico (AOL) son más efectivos en la disminución de la actividad respiratoria de los frutos respecto a los tratamientos blancos. Se resalta, de manera general, que todos los tratamientos con recubrimientos de almidón de yuca, formulados con glicerol y cera carnauba (compuesto lipídico),

mejoraron las propiedades de barreras de gases del revestimiento, permitiendo disminuir la tasa de respiración de los nísperos (Chiumarelli & Hubinger, 2012).

Finalmente, la Tabla 14 para el índice de madurez evidenció que el T2 es el tratamiento óptimo para el recubrimiento comestible con almidón de yuca modificado.

Tabla 14. Tratamiento minimizar IM.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Almidón	2,0	4,0	4,0
Cera	0,1	0,5	0,5
Temperatura	-1	1,0	1,0

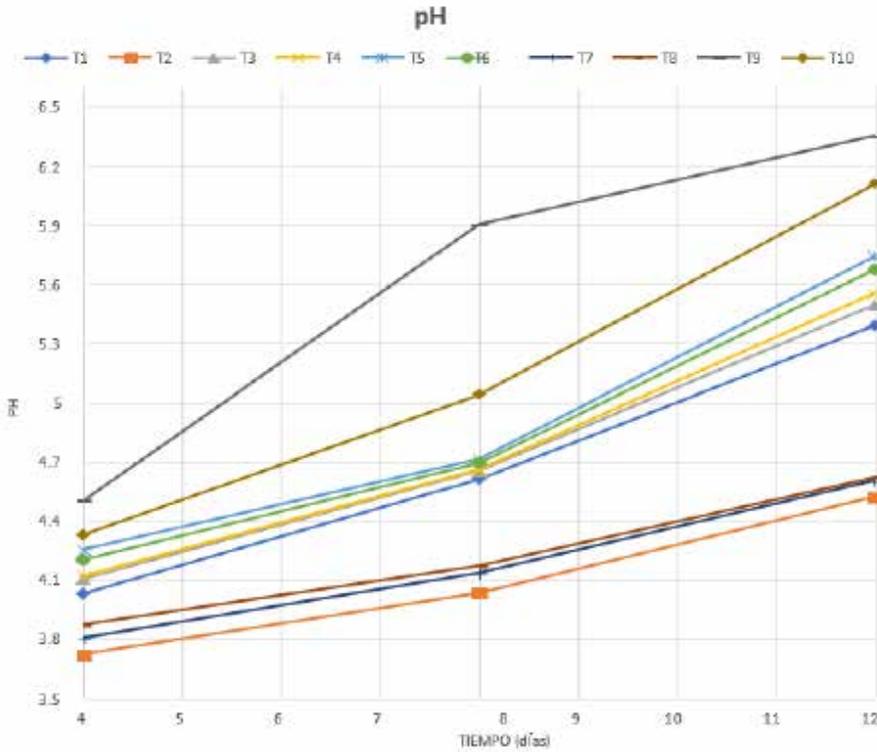
6.4. Análisis del pH del níspero en relación con los tratamientos experimentales

El pH de una fruta es la forma cuantitativa de conocer el nivel de acidez que esta posee. Principalmente se desea conocer el pH cuando se le va a dar un uso industrial para la transformación de conservas, jaleas, mermeladas y otros productos procesados, en los cuales el nivel de acidez de la fruta influye en algún factor del producto terminado (Reis *et al.*, 2006).

6.4.1 Análisis del pH (día 4, 8, 12).

En el Gráfico 5 se puede observar la variación de los tratamientos utilizados, la cual estuvo enfocada en las variables de concentración de almidón, concentración de cera carnauba y temperatura de almacenamiento. Como se puede observar, para el día 4, con el tratamiento T2, el níspero obtuvo un pH de 3,71, el cual fue el valor mínimo registrado para todos los tratamientos. El tratamiento más desfavorable, en cuanto a su pH, fue el tratamiento T9, el cual no poseía recubrimiento, obteniendo un valor de 4,5.

Gráfico 5. Comportamiento del pH según tiempo de almacenamiento.



Fuente: Elaboración propia.

El análisis estadístico indicó diferencias significativas en los niveles de pH ($p=0,0001$) en la concentración de almidón, para los días 4, 8 y 12. De igual manera, para la concentración de cera carnauba y temperatura, las interacciones concentración de cera carnauba*almidón también presentaron diferencias significativas; mientras que las interacciones almidón*temperatura no presentaron diferencias significativas ($p=0,0142$); finalmente, las interacciones sistema de temperatura*concentración de cera carnauba no presentaron diferencias significativas, puesto que el p valor es $p=0,0601$ (ver Anexo 4D).

Como se observa en la Tabla 15, la prueba de optimización para el pH en los días 4, 8 y 12 arrojó que el tratamiento T2 obtuvo un índice óptimo de

pH, en comparación con los demás tratamientos. Esto debido al método de conservación y a las cantidades de almidón oxidado y cera carnauba que poseía el recubrimiento, y la poca acidez que se generó en el fruto.

Tabla 15. Tratamiento minimizar pH.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Almidón	2,0	4,0	4,0
Cera	0,1	0,5	0,5
Temperatura	-1,0	1,0	1,0

Fuente: Elaboración propia.

7. Conclusiones

- Los tratamientos que se almacenaron a temperatura de refrigeración tuvieron una mayor aceptación en la aplicación del recubrimiento, con respecto a los almacenados a temperatura ambiente. Lo anterior debido a que, por las bajas temperaturas, el fruto tiene un tiempo de vida útil mayor, disminuye el contacto con plagas voladoras, y la humedad es controlada.
- El tratamiento T2, el cual contenía 4,0% de almidón oxidado, 0,5% de cera carnauba y estaba almacenado a temperatura refrigerada, obtuvo un índice de madurez bastante menor en comparación con los demás tratamientos. Esto debido al método de conservación y a las cantidades de almidón oxidado y cera carnauba que poseía el recubrimiento.
- Los recubrimientos elaborados con concentraciones de almidón oxidado del 4,0% disminuyen el efecto de maduración de los nísperos. Sin embargo, en los tratamientos T3, T5 y T6, que se almacenaron a temperatura ambiente, luego del día 8 comenzaron a lixiviar, debido al debilitamiento del recubrimiento y a la contaminación por plagas voladoras.
- El recubrimiento comestible da un valor agregado a los nísperos en el mercado nacional e internacional, debido a que resuelve algunas problemáticas por las cuales este no se comercializaba, entre ellas, el poco tiempo de vida útil y el aspecto físico que posee este fruto.

8. Recomendaciones

- Implementar el recubrimiento comestible en nísperos que tengan un estado de madurez mínimo, y que posean el pedúnculo, para así evitar el ingreso de plagas.
- Realizar un análisis de viabilidad y de mercado para determinar si es viable la comercialización de los nísperos con recubrimiento comestible.
- Implementar una técnica de secado más eficiente, luego de la aplicación del recubrimiento comestible, para que así el recubrimiento quede totalmente homogéneo y recubra toda la superficie del fruto.
- Evaluar la tasa de respiración de los nísperos recubiertos durante el tiempo de almacenamiento.
- Prolongar el tiempo de almacenamiento de los nísperos recubiertos para conocer el tiempo de vida útil máximo que puede tener el tratamiento que resulto más óptimo.
- Reducir los factores de ruido en los diseños experimentales, como la temperatura en lo tratamientos blancos y los tratamientos en frío.

Referencias

- Adebowale, K., Afolabi, T., & Olu-Owolabi, B. (2006). Functional, Physicochemical and Retrogradation Properties of Sword Bean (*Canavalia gladiata*) Acetylated and Oxidized Starches. *Carbohydratepolymers*, 65(1), 93-101.
- Aguilar, P. (2010). Obtención de almidón fermentado a partir de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Variedad valencia, factibilidad de uso en productos de panadería. *Tecnología en marcha*, 23 (3), 15-23.
- Almeida Castro, A., Reis Pimentel, J., Santos Souza, D., Vieira de Oliveira, T., & da Costa Oliveira, M. (2011). Estudio de la conservación de la papaya (*Carica papaya* L.) asociado a la aplicación de películas comestibles. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2 (1), 49-60.
- Arismendi, L. (2001). Investigación sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) en el oriente de Venezuela. *Revista UDO Agrícola*, 1 (1), 1-10.
- Ascencio, M. (2016). *Efecto del recubrimiento comestible a base de almidón oxidado de yuca en la conservación de ñame mínimamente procesado empacado al vacío* (tesis). Universidad de Córdoba, Montería.
- Association of Official Analytical Chemists - AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis*. Washington, DC.: AOAC.
- Barco, P., Burbano, A., Mosquera, S., Villada, H., & Navia, D. (2011). Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(2), 96-103. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S179444492011000200011&lng=en&tlng=es.
- Canto Pereira, M., Santana da Silva, A., da Rocha Bispo, A., Barbosa dos Santos, D., Barbosa dos Santos, S., & dos Santos, V. (2006). Amadurecimento de mamão formosa com revestimento comestível à base de fécula de mandioca. *Ciênc. agrotec., Lavras*, 30 (6), 1116-1119.
- Cedeño, J. & Maldonado, M. (2003). *Comercialización de la yuca en snack al mercado mexicano* (Tesis). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.

- Chávez-Murillo, C., Wang, Y., & Bello-Pérez, L. (2008). Morphological, Physicochemical and Structural Characteristics of Oxidized Barley and Corn Starches. *Starch* 60 (11), 634– 645.
- Chiumarelli, M., & Hubinger, M. (2012). Stability, Solubility, Mechanical and Barrier Properties of Cassava Starch - Carnauba Wax Edible Coatings to Preserve Fresh-Cut Apples. *Food Hydrocolloids*, 28 (1), 59–67.
- Cortés-Rodríguez, M., Alegría Macías, R., Cardona Velásquez, L., & Arango Tobón, J. (2019). Influencia de un recubrimiento comestible adicionado con calcio sobre la calidad de la mora de Castilla. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1212>.
- DANE. (2016). El cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria*, 46. Bogotá: DANE.
- Díaz, M., & Carreras, I. (1999). Síntesis y caracterización del almidón oxidado para su posterior evaluación como agente aglutinante en tabletas. *Revista Cubana de Farmacia*, 33, 98–103.
- Enríquez, M., Velasco, R. & Fernández, A. (2013). Caracterización de almidones de yuca nativos y modificados para la elaboración de empaques biodegradables. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 21-30. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/1222>.
- Fernández, D., Bautista, S. Fernández, D., Ocampo, A., García, A., & Falcón, A. (2015). Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24 (3), 52–57.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (1990). *Roots, Tubers, Plantains and Bananas in Human Nutrition*. Roma: FAO.
- Kuakpetoon, D., & Wang, Y. (2001). Characterization of Different Starches Oxidized by Hypochlorite. *Starch*, 53 (5), 211–218.
- Mahovic, M., Sargent, S., Bartz, J., & Lon Kan, E. (2002). *Identificación y control poscosecha de las enfermedades del tomate en la Florida*. Plant Pathology Department, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

- Márquez, C., Cartagena, J., & Pérez-Gago, M. (2009) Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad en postcosecha del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* T.). *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 16 (3), 304-310.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2015). Informe de Evaluación Agropecuaria (EVA). Departamento del Atlántico.
- Molina, E. (2008). Desarrollo de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para la conservación de frutas. *Revista Chapingo. Serie Ingeniería Agropecuaria*, 7(1-2) pp. 5-9.
- Morales, M. (2011). *Generalidades y aplicación de películas y recubrimientos comestibles en la cadena hortofrutícola* (Tesis). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- Morales, N., & Robayo, A. (2015). Recubrimientos para frutas. *Alimentos Hoy*, 23 (35), 20-32.
- Mosquera, S., & Paz, S. (2017). Estado actual del uso de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*, 15 (2), 134-141.
- Muy Rangel, D., Espinoza, B., Siller, J., Sañudo, J. A., Valdez, B., & Osuna, T. (2009). Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) y de una película comestible sobre la actividad enzimática y calidad poscosecha del mango ataulfo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(1), 53-60.
- Oliveira, M., & Cereda, M. (2003). Pós-colheita de pêsegos (*Prunus pérsica* L. Bastsch) revestidos com filmes a base de amido como alternativa à cera comercial. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*, 23, 28-33.
- Pardo, O., Castañeda, J., & Ortiz, C. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Acta Agronómica*, 62(4), 289-295. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122013000400001&lng=en&tlng=es.
- Pauta, D. (2018). *Recubrimientos comestibles a base de almidón y goma de galeno para la conservación postcosecha de manzana* (Tesis de maestría). Universitat Politècnica de Valencia, Valencia.
- Pedraza, R.O., Motok, J., Salazar, S.M., Ragout, A., Mentel, M, Tortora, M., ... Díaz, R. (2010). Growth-Promotion of Strawberry Plants Inoculated with

- Azospirillum brasilense*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26, 265–272. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0169-1>.
- Prescott-Allen, R., & Prescott-Allen, C. (1990). How Many Plants Feed the World? *Conservation Biology*, 4 (4), 365–374.
- Ramos-García, M., Romero-Bastida, C., & Bautista-Baños, S. (2018). Almidón modificado: propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19 (1), 30–44.
- Ramos-García, M., Bautista-Baños, S., Barrera-Necha, L., Bosquez-Molina, E., Alia-Tejacal, I., & Estrada-Carrillo, M. (2010). Compuestos antimicrobianos adicionados en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 28(1), 44-57.
- Reid, M. (2002). Maturation and maturity indices. In A. Kader (Ed.). *Postharvest Technology of Horticultural Crops* (pp. 55-62). Davis, California: University of California.
- Reis, K., Siqueira Elias, H., Oliveira Lima, L., Silva, J., & Pereira, J. (2006). Pepino japonês (*Cucumis sativus* L.) submetido ao tratamento com fécula de mandioca. *Ciênc. Agrotec., Lavras*, 30 (3), 487-493.
- Romojaro, F., Riquelme, F., Pretel, M.T., Martínez, G., Serrano, M., Martínez, C., Luna, P.A. (1996). *Nuevas Tecnologías de Conservación de Frutas y Hortalizas: Atmósferas Modificadas*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- Rutenberg, M., & Solarek, D. (1984). Starch Derivatives: Production and Uses. In R. Whistler, J. Bemiller, & E. Paschall (Eds.). *Starch: Chemistry and Technology* (pp. 311-388). New York: Academic Press.
- Sánchez, M. (2004). *Modificación por oxidación del almidón de plátano y su caracterización parcial* (Tesis). Instituto Politécnico Nacional, México.
- San Juan, N., Cárcel, J., Clemente, G., & Mulet, A. (2001). Modelling of the Rehydration Process of Broccoli Florets. *European Food Research and Technology*, 212, 449–453.
- Suárez, L., & Mederos, V. (2011). Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Cultivos Tropicales*, 32(3), 27–35.

- Torrenegra, M., Osorio, M., León, G., & González, B. (2016). Esterificación de almidones propios de la región Caribe colombiana. *Revista Cubana de Farmacia*, 50(4), Disponible en: <<http://www.revfarmacia.sld.cu/index.php/far/article/view/59>>.
- Trujillo, Y., Pérez, J., & Duran, D. (2012). Empleo de recubrimientos comestibles con base en almidón de papa y yuca en la conservación del mango zapote. *Alimentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 10(1), 5-17.
- Vázquez-Briones, M., & Guerrero-Beltrán, J. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2), 5-14.
- Wang, Y., & Wang, L. (2003). Physiochemical Properties of Common and Waxy Corn Starches Oxidized by Different Levels of Sodium Hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*, 52(3), 207-217.
- Zhang, Y., Wang, X., Zhao, G., & Wang, Y. (2012). Preparation and Properties of Oxidized Starch with High Degree of Oxidation. *Carbohydrate Polymers*, 87(4), 2554-2562.
- Zhang, S., Zhang, Y., Wang, X., & Wang, Y. (2009). High Carbonyl Content Oxidized Starch Prepared by Hydrogen Peroxide and Its Thermoplastic Application. *Starch*, 61 (11), 646-655.

Anexos

Anexo 1. Evidencias fotográficas del diseño experimental.



Imagen 1. Modificación del almidón nativo de yuca por el método de oxidación.



Imagen 2. Muestras de almidón modificado con distintas concentraciones.

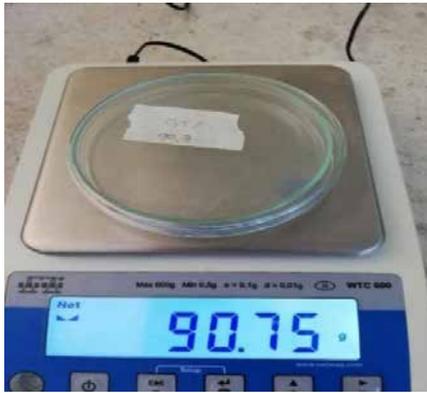


Imagen 3. Pesajes de cajas de Petri utilizadas para hallar la solubilidad del almidón modificado.

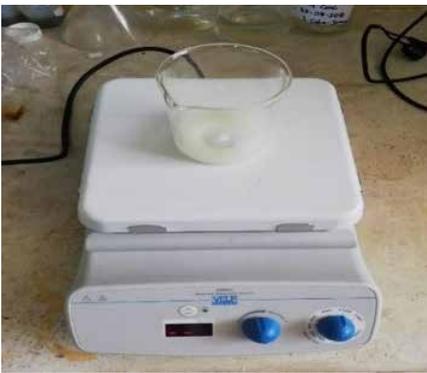


Imagen 4. Agitador magnético utilizado para realizar la prueba de contenido carboxilo.



Imagen 5. Tubo de ensayo utilizado para hallar la capacidad emulsificante del almidón modificado.



Imagen 6. Centrifuga utilizada en prueba de capacidad emulsificante.



Imagen 7. Horno utilizado en la prueba de solubilidad.



Imagen 8. Balanza analítica.



Imagen 9. Preparación del recubrimiento.



Imagen 10. Selección del nispero según su tamaño, color y/o presencia de magulladuras y/o cortadas que permitieran un mayor deterioro.



Imagen 11. Tratamientos de nisperos seleccionados para realizar la inmersión en el recubrimiento



Imagen 12. Caja elaborada para evitar el contacto de plagas voladoras con los nisperos que estaban expuestos al medio ambiente.



Imagen 13. Termostato indicando la temperatura de refrigeración en la que se encontraban los nísperos.



Imagen 14. Refractómetro, instrumento utilizado para medir SST del níspero.



Imagen 15. Montaje para hallar la acidez del níspero.



Imagen 16. pH-METRO, instrumento utilizado para medir el pH de los nísperos.



Imagen 17. Níspero lixiviado con presencia de larvas debido al deterioro y la contaminación.

Anexo 2.

Contenido Carbonilo

Concentración (%)	X (ml)
0,5	5,3
1	5
1,5	4,6
2	4,3

Donde

X = Muestra

Y = Blanco que es constante de (5,5 ml)

Contenido Carboxilo

Concentración (%)	X (ml)	Y
0,5	9,7	0,8
1	10,3	1,1
1,5	10,9	1,4
2	11,5	1,7

Donde

X = Muestra

Y = Miliequivalentes de ácido / 100 g de almidón

Z = Blanco que es constante de (8,1 ml)

Capacidad de retención de agua (CRA)

Concentración (%)	X (g)	Y (g)
0,5	10,529	9,657
1	10,772	10,016
1,5	10,432	9,804
2	10,810	10,254

Donde

X = Masa de la muestra con agua

Y = Masa de agua removida

Capacidad emulsificante

Concentración (%)	X (cm)	Y (cm)
0,5	1,5	6,8
1	1,2	6,8
1,5	0,8	7
2	0,50	7

Donde

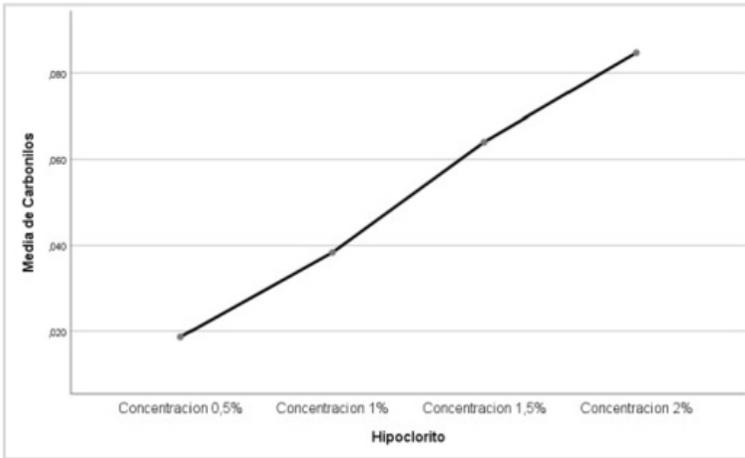
X = Longitud de la capa emulsificada

Y = Longitud del contenido total del tubo de ensayo

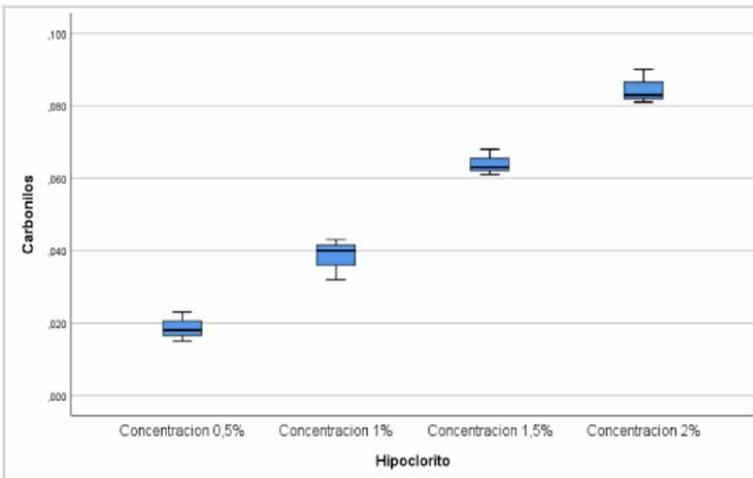
Anexo 3. Análisis ANOVA almidón oxidado.

Anexo 3A. Resultados - Carbonilos.

Medias de carbonilos para intervalos HSD
de Tukey para cada tratamiento



Prueba de normalidad de datos carbonilos



ANOVA Carbonilos

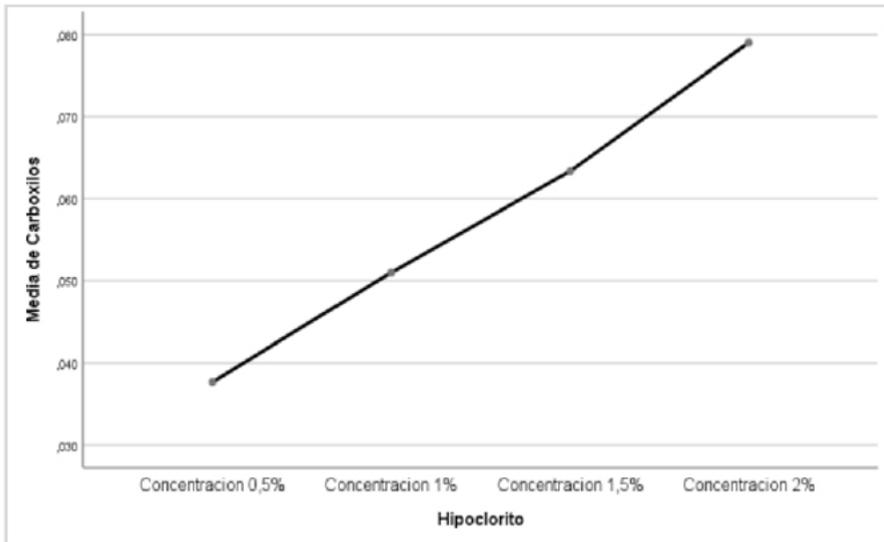
	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	0,008	3	0,003	119,411	0,0001
Dentro de grupos	0,000	8	0,000		
Total	0,008	11			

**Subconjuntos homogéneos
Carbonilos**

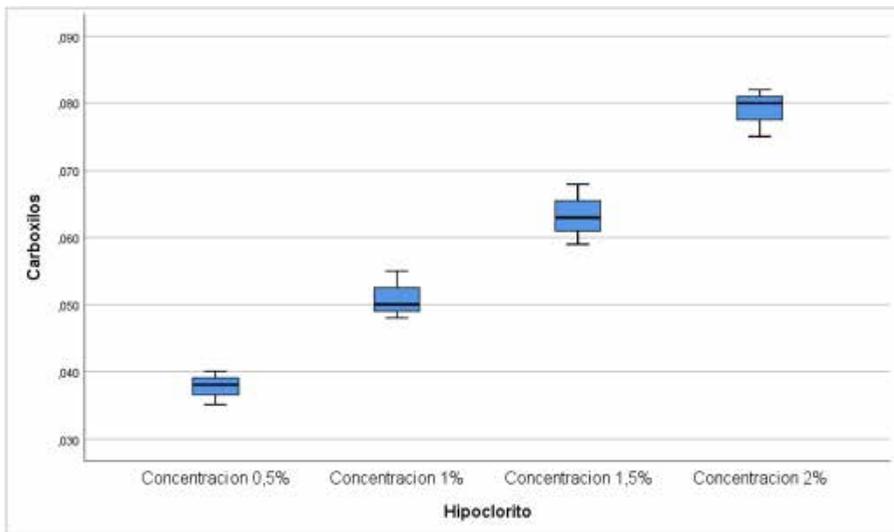
Hipoclorito	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Concentración 0,5%	3	,01867			
Concentración 1,0%	3		0,03833		
Concentración 1,5%	3			0,06400	
Concentración 2,0%	3				0,08467
p-valor		1,000	1,000	1,000	1,000

Anexo 3B. Resultados - Carboxilos.

Medias de carboxilos para intervalos HSD de Tukey para cada tratamiento



Prueba de normalidad de datos carboxilos



ANOVA Carboxilos

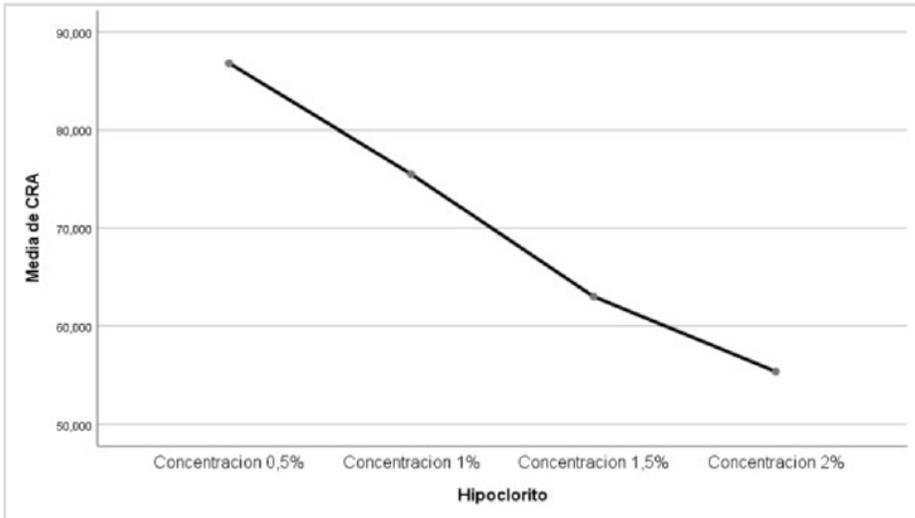
	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p- valor
Entre grupos	0,003	3	0,001	70,757	0,0001
Dentro de grupos	0,000	8	0,000		
Total	0,003	11			

Carboxilos

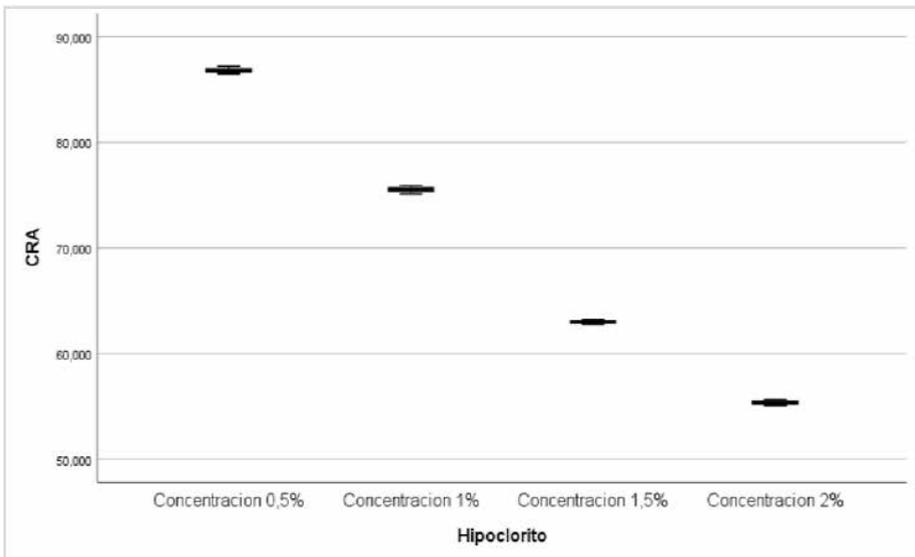
Hipoclorito	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Concentración 0,5%	3	0,03767			
Concentración 1,0%	3		0,05100		
Concentración 1,5%	3			0,06333	
Concentración 2,0%	3				0,07900
p-valor		1,000	1,000	1,000	1,000

Anexo 3C. Resultados - Absorción de agua.

Medias de calidad de absorción de agua para intervalos HSD de Tukey para cada tratamiento



Prueba de normalidad de datos CRA

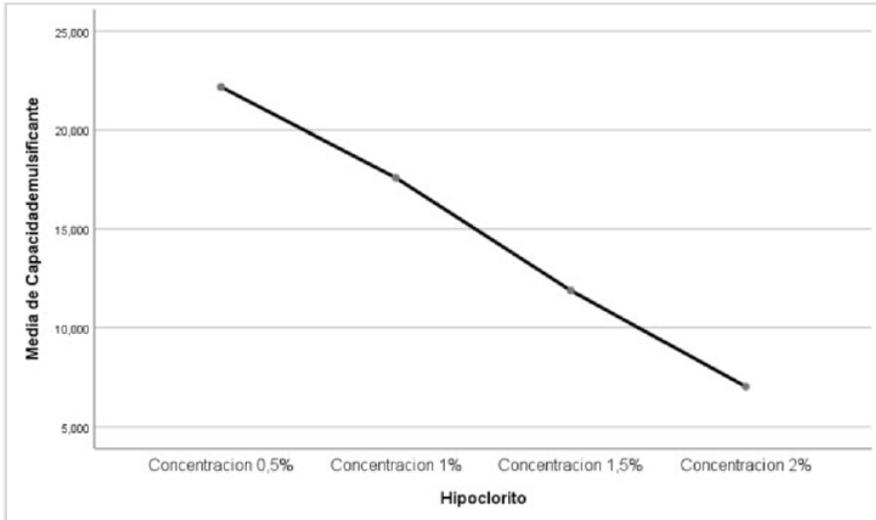


CRA

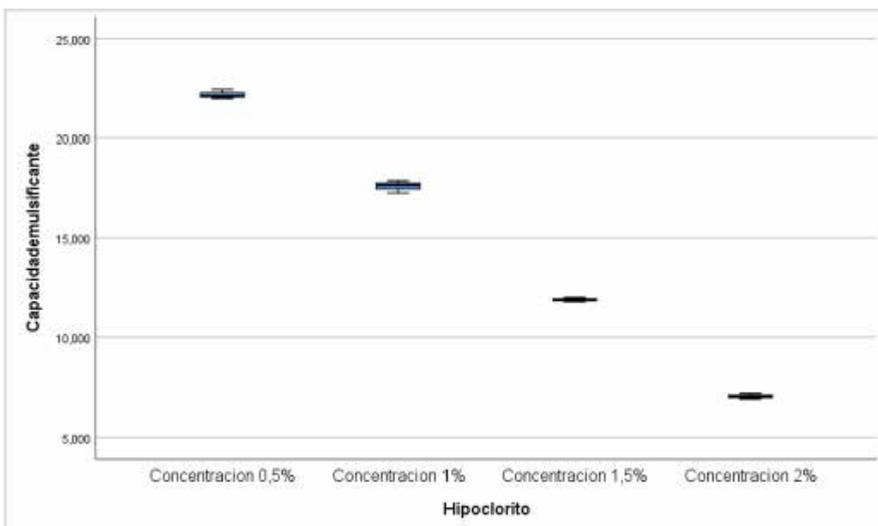
		Subconjunto para alfa = 0.05			
Hipoclorito	N	1	2	3	4
Concentración 2,0%	3	55,35533			
Concentración 1,5%	3		63,01033		
Concentración 1,0%	3			75,51767	
Concentración 0,5%	3				86,81733
p-valor		1,000	1,000	1,000	1,000

Anexo 3D. Resultados - Capacidad emulsificante.

Medias de calidad capacidad emulsificante para intervalos HSD de Tukey para cada tratamiento



Prueba de normalidad de datos capacidad emulsificante



ANOVA Capacidad Emulsificante

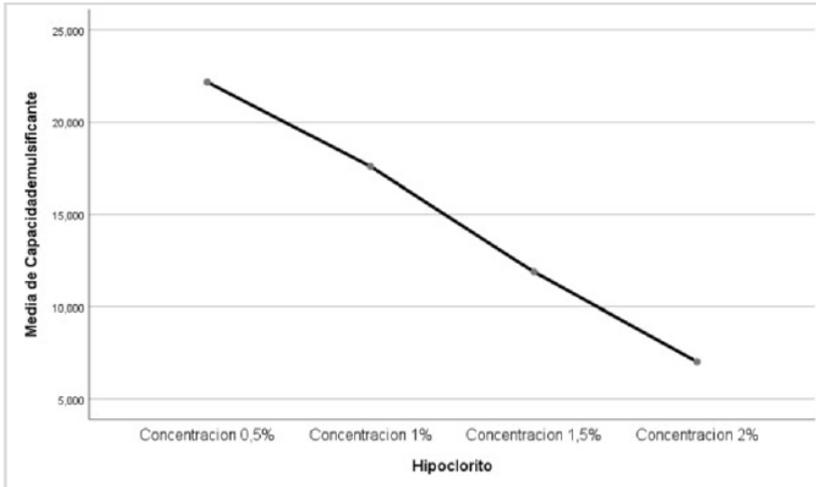
	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p- valor
Entre grupos	393,579	3	131,193	2984,823	0,0001
Dentro de grupos	0,352	8	,044		
Total	393,930	11			

Capacidad Emulsificante

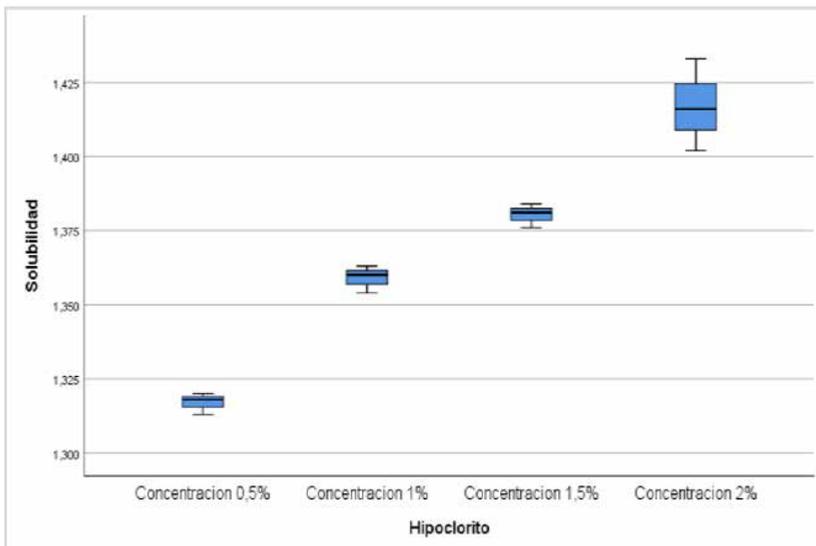
Hipoclorito	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Concentración 2,0%	3	7,01833			
Concentración 1,5%	3		11,89000		
Concentración 1,0%	3			17,59600	
Concentración 0,5%	3				22,17700
p- valor		1,000	1,000	1,000	1,000

Anexo 3E. Resultados - Solubilidad.

Medias de calidad solubilidad para intervalos HSD de Tukey para cada tratamiento



Prueba de normalidad de datos solubilidad



ANOVA Solubilidad

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	p- valor
Entre grupos	0,016	3	0,005	71,872	0,0001
Dentro de grupos	0,001	8	0,000		
Total	0,016	11			

Solubilidad

Hipoclorito	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Concentración 0,5%	3	1,31700		
Concentración 1,0%	3		1,35900	
Concentración 1,5%	3		1,38033	
Concentración 2,0%	3			1,41700
p- valor		1,000	0,061	1,000

Anexo 4. Resultados del diseño experimental.

Anexo 4A. Análisis ANOVA para los resultados de grados Brix.

Grados Brix Día 4

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	17,6817	1	17,6817	2053,35	0,0001
B: Cera	1,215	1	1,215	141,10	0,0001
C: Temp.	4,00167	1	4,00167	464,71	0,0001
AB	0,015	1	0,015	1,74	0,2067
AC	0,015	1	0,015	1,74	0,2067
BC	0,135	1	0,135	15,68	0,0013
Bloques	0,00583333	2	0,00291667	0,34	0,7180
Error total	0,129167	15	0,00861111		
Total (corr.)	23,1983	23			

Grados Brix Día 8

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	17,5104	1	17,5104	105,04	0,0001
B: Cera	25,4204	1	25,4204	152,50	0,0001
C: Temp.	5,70375	1	5,70375	34,22	0,0001
AB	2,47042	1	2,47042	14,82	0,0016
AC	14,2604	1	14,2604	85,55	0,0001
BC	18,2004	1	18,2004	109,18	0,0001
Bloques	0,00333333	2	0,00166667	0,01	0,9901
Error total	2,50042	15	0,166694		
Total (corr.)	86,0696	23			

Grados Brix Día 12

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	35,7704	1	35,7704	313,24	0,0001
B: Cera	48,4504	1	48,4504	424,28	0,0001
C: Temp.	5,13375	1	5,13375	44,96	0,0001
AB	2,34375	1	2,34375	20,52	0,0004
AC	38,2537	1	38,2537	334,99	0,0001
BC	25,8338	1	25,8338	226,23	0,0001
Bloques	0,000833333	2	0,000416667	0,00	0,9964
Error total	1,71292	15	0,114194		
Total (corr.)	157,5	23			

Anexo 4B. Análisis ANOVA para los resultados de grados acidez.

Acidez 4

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	0,0726	1	0,0726	1293,86	0,0001
B: Cera	0,0112667	1	0,0112667	200,79	0,0001
C: Temp.	0,0416667	1	0,0416667	742,57	0,0001
AB	0,00326667	1	0,00326667	58,22	0,0001
AC	0,0130667	1	0,0130667	232,87	0,0001
BC	0,000266667	1	0,000266667	4,75	0,0456
Bloques	0,000025	2	0,0000125	0,22	0,8029
Error total	0,000841667	15	0,0000561111		
Total (corr.)	0,143	23			

Acidez 8

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	0,198017	1	0,198017	349,44	0,0001
B: Cera	0,0266667	1	0,0266667	47,06	0,0001
C: Temp.	0,0704167	1	0,0704167	124,26	0,0001
AB	0,0112667	1	0,0112667	19,88	0,0005
AC	0,0160167	1	0,0160167	28,26	0,0001
BC	0,0112667	1	0,0112667	19,88	0,0005
Bloques	0,0001	2	0,00005	0,09	0,9160
Error total	0,0085	15	0,000566667		
Total (corr.)	0,34225	23			

Acidez 12

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	0,14415	1	0,14415	167,94	0,0000
B: Cera	0,01215	1	0,01215	14,16	0,0019
C: Temp.	0,02535	1	0,02535	29,53	0,0001
AB	0,00166667	1	0,00166667	1,94	0,1838
AC	0,0130667	1	0,0130667	15,22	0,0014
BC	0,00806667	1	0,00806667	9,40	0,0078
Bloques	0,000208333	2	0,000104167	0,12	0,8866
Error total	0,012875	15	0,000858333		
Total (corr.)	0,217533	23			

Anexo 4C. Análisis ANOVA para los resultados de índice de madurez.

Índice de madurez 4

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	203,7	1	203,7	1612,04	0,0001
B: Cera	23,6017	1	23,6017	186,78	0,0001
C: Temp.	80,8134	1	80,8134	639,54	0,0001
AB	1,66427	1	1,66427	13,17	0,0025
AC	5,7624	1	5,7624	45,60	0,0001
BC	2,6136	1	2,6136	20,68	0,0004
Bloques	0,0641083	2	0,0320542	0,25	0,7792
Error total	1,89543	15	0,126362		
Total (corr.)	320,115	23			

Índice de madurez 8

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	1140,98	1	1140,98	429,51	0,0001
B: Cera	180,731	1	180,731	68,03	0,0001
C: Temp.	520,802	1	520,802	196,05	0,0001
AB	29,3046	1	29,3046	11,03	0,0047
AC	13,2313	1	13,2313	4,98	0,0413
BC	95,8401	1	95,8401	36,08	0,0001
Bloques	0,8617	2	0,43085	0,16	0,8518
Error total	39,8469	15	2,65646		
Total (corr.)	2021,6	23			

Índice de madurez 12

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	2874,81	1	2874,81	199,93	0,0001
B: Cera	356,279	1	356,279	24,78	0,0002
C: Temp.	637,261	1	637,261	44,32	0,0001
AB	33,4884	1	33,4884	2,33	0,1478
AC	113,492	1	113,492	7,89	0,0132
BC	97,0026	1	97,0026	6,75	0,0202
Bloques	2,55758	2	1,27879	0,09	0,9154
Error total	215,69	15	14,3793		
Total (corr.)	4330,58	23			

Anexo 4D. Análisis ANOVA para los resultados de grados acidez.

pH 4

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	0,445538	1	0,445538	405,96	0,0001
B: Cera	0,0610042	1	0,0610042	55,58	0,0001
C: Temp.	0,242004	1	0,242004	220,50	0,0001
AB	0,0155042	1	0,0155042	14,13	0,0019
AC	0,0084375	1	0,0084375	7,69	0,0142
BC	0,0045375	1	0,0045375	4,13	0,0601
Bloques	0,00000833333	2	0,00000416667	0,00	0,9962
Error total	0,0164625	15	0,0010975		
Total (corr.)	0,793496	23			

pH 8

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	1,07104	1	1,07104	228,60	0,0001
B: Cera	0,175104	1	0,175104	37,37	0,0001
C: Temp.	0,226204	1	0,226204	48,28	0,0001
AB	0,100104	1	0,100104	21,37	0,0003
AC	0,110704	1	0,110704	23,63	0,0002
BC	0,0477042	1	0,0477042	10,18	0,0061
Bloques	0,000325	2	0,0001625	0,03	0,9660
Error total	0,0702792	15	0,00468528		
Total (corr.)	1,80146	23			

pH 12

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
A: Almidón	3,5651	1	3,5651	208,32	0,0001
B: Cera	0,531038	1	0,531038	31,03	0,0001
C: Temp.	0,788438	1	0,788438	46,07	0,0001
AB	0,199838	1	0,199838	11,68	0,0038
AC	0,0925042	1	0,0925042	5,41	0,0345
BC	0,158437	1	0,158437	9,26	0,0082
Bloques	0,000933333	2	0,000466667	0,03	0,9731
Error total	0,256704	15	0,0171136		
Total (corr.)	5,593	23			

Anexo 5. Tabla de datos experimentales.

Anexo 5A. Resultados de las propiedades de grados Brix en el níspero recubierto para el diseño experimental

Tratamientos	Tiempo de almacenamiento		
	Día 4	Día 8	Día 12
T1	15,2	17,3	20,3
	15,3	17	20,2
	15,3	17,3	20,2
T2	13,5	14	15,4
	13,4	13,9	15,3
	13,2	14	15,4
T3	14,8	17,8	21,1
	14,8	17,9	21
	14,7	18	21
T4	15,5	17,5	21
	15,3	17,6	21,2
	15,6	17,5	21,2
T5	16,4	19,4	22,1
	16,4	19,3	22,1
	16,5	19,3	22,1
T6	15,8	18,5	22
	15,8	18,4	21,9
	15,9	18,5	21,9
T7	13,8	14,2	16
	13,9	14,4	16,1
	13,7	14,2	16
T8	14,1	15,3	17,2
	14,3	15,4	17,3
	14,2	15,4	17,3
TB ambiente	17	20,1	23,5
	16,8	20,2	23,5
	17	20,2	23,6
TB refrigerado	16,2	19,6	21,8
	16,3	19,4	21,9
	16,3	19,6	21,7

Anexo 5B. Resultados de las propiedades de grados acidez en el níspero recubierto para el diseño experimental.

Tratamientos	Tiempo de almacenamiento		
	Día 4	Día 8	Día 12
T1	0,66	0,52	0,4
	0,66	0,51	0,42
	0,65	0,51	0,42
T2	0,83	0,75	0,59
	0,83	0,75	0,59
	0,84	0,76	0,58
T3	0,63	0,49	0,4
	0,63	0,48	0,42
	0,65	0,48	0,42
T4	0,64	0,5	0,38
	0,64	0,49	0,38
	0,64	0,5	0,37
T5	0,6	0,44	0,37
	0,61	0,43	0,37
	0,59	0,43	0,36
T6	0,62	0,47	0,39
	0,63	0,46	0,39
	0,62	0,46	0,38
T7	0,78	0,72	0,6
	0,78	0,72	0,61
	0,77	0,73	0,61
T8	0,72	0,67	0,56
	0,71	0,68	0,56
	0,71	0,67	0,55
TB ambiente	0,52	0,39	0,3
	0,53	0,39	0,3
	0,52	0,4	0,3
TB refrigerado	0,62	0,42	0,35
	0,62	0,42	0,33
	0,63	0,43	0,33

Anexo 5C. Resultados de las propiedades de índice de madurez en el níspero recubierto para el diseño experimental.

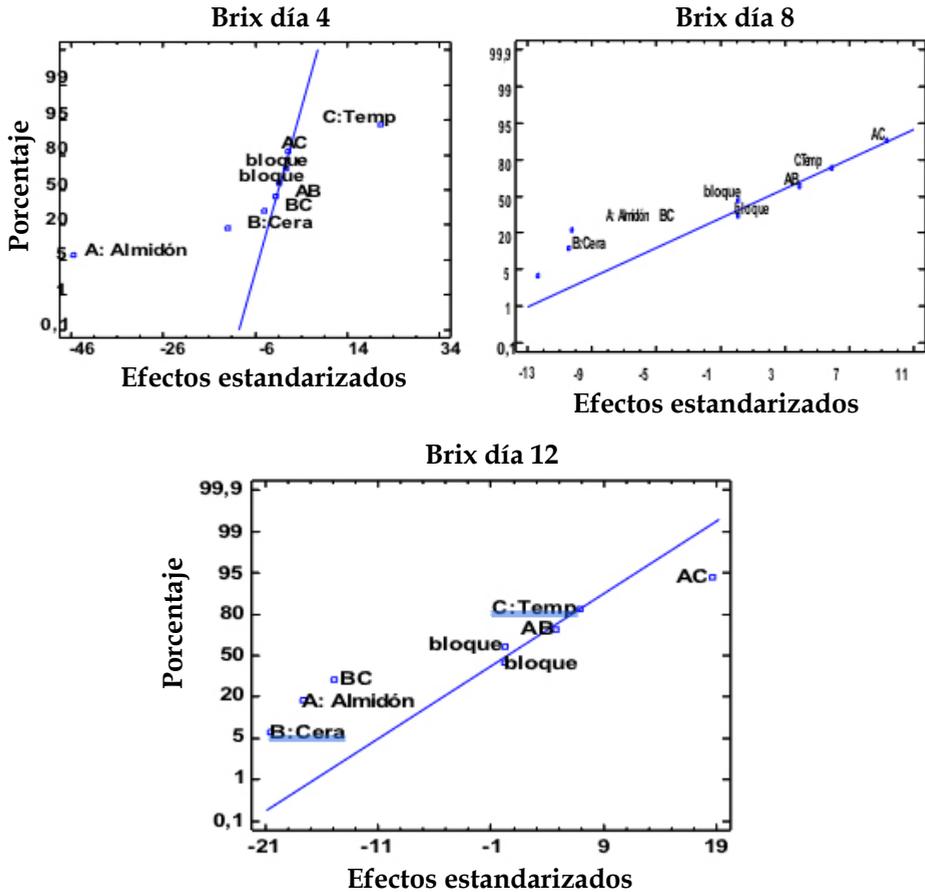
Tratamientos	Tiempo de almacenamiento		
	Día 4	Día 8	Día 12
T1	23,03	33,27	50,75
	23,18	33,33	48,10
	23,54	33,92	48,10
T2	16,27	18,67	26,10
	16,14	18,53	25,93
	15,71	18,42	26,55
T3	23,49	36,33	52,75
	23,49	37,29	50,00
	22,62	37,50	50,00
T4	24,22	35,00	55,26
	23,91	35,92	55,79
	24,38	35,00	57,30
T5	27,33	44,09	59,73
	26,89	44,88	59,73
	27,97	44,88	61,39
T6	25,48	39,36	56,41
	25,08	40,00	56,15
	25,65	40,22	57,63
T7	17,69	19,72	26,67
	17,82	20,00	26,39
	17,79	19,45	26,23
T8	19,58	22,84	30,71
	20,14	22,65	30,89
	20,00	22,99	31,45
TB ambiente	32,69	51,54	78,33
	31,70	51,79	78,33
	32,69	50,50	78,67
TB refrigerado	26,13	46,67	62,29
	26,29	46,19	66,36
	25,87	45,58	65,76

Anexo 5D. Resultados de las propiedades de pH en el níspero recubierto para el diseño experimental.

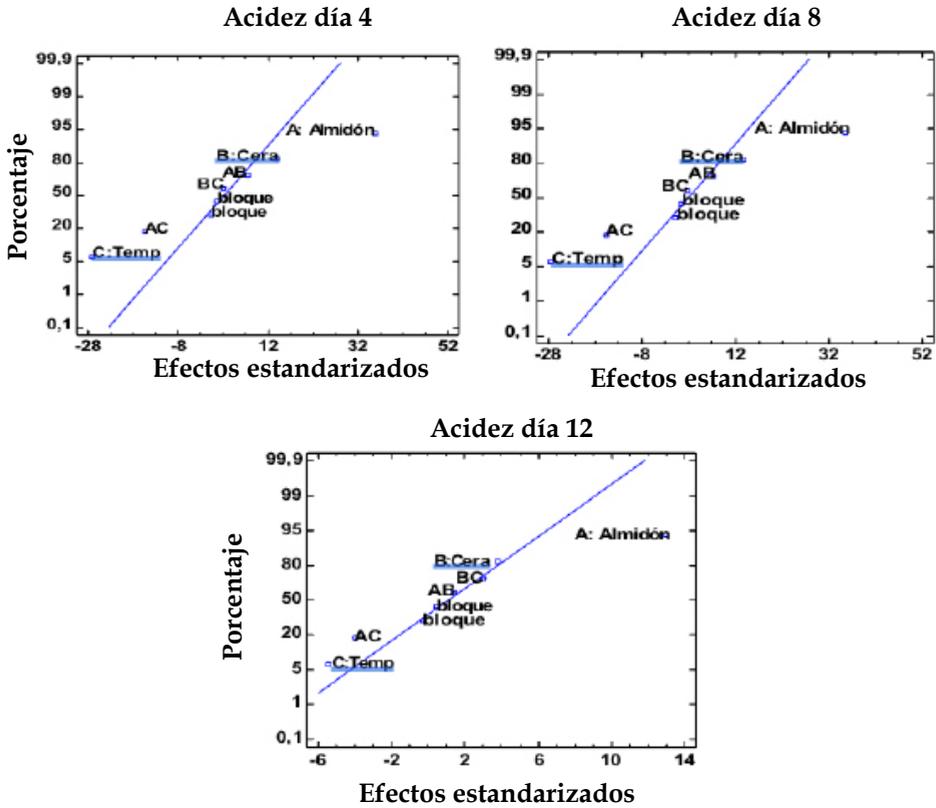
Tratamientos	Tiempo de almacenamiento		
	Día 4	Día 8	Día 12
T1	4,03	4,62	5,4
	4,03	4,61	5,39
	4,03	4,61	5,39
T2	3,72	4,03	4,52
	3,72	4,03	4,52
	3,71	4,04	4,52
T3	4,1	4,65	5,49
	4,1	4,67	5,49
	4,12	4,67	5,48
T4	4,12	4,66	5,55
	4,09	4,69	5,55
	4,09	4,67	5,55
T5	4,25	4,71	5,74
	4,25	4,72	5,75
	4,23	4,71	5,75
T6	4,2	4,69	5,67
	4,2	4,69	5,68
	4,24	4,69	5,67
T7	3,8	4,13	4,6
	3,79	4,15	4,6
	3,79	4,13	4,7
T8	3,87	4,17	4,62
	3,9	4,17	4,65
	3,87	4,16	4,65
TB ambiente	4,5	5,9	6,35
	4,51	5,9	6,36
	4,5	5,9	6,36
TB refrigerado	4,33	5,04	6,11
	4,32	5,05	6,11
	4,32	5,04	6,1

Anexo 6. Gráficos de efectos estandarizados.

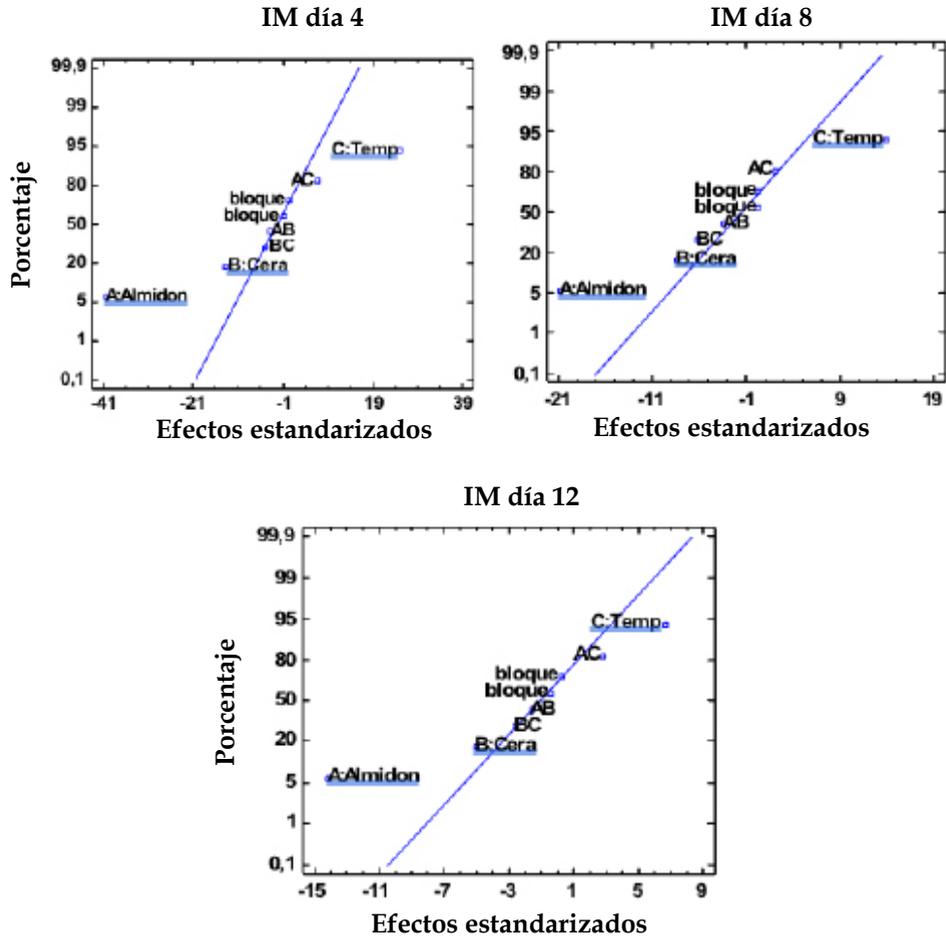
Anexo 6A. Efectos estandarizados de los grados Brix (día 4-8-12).



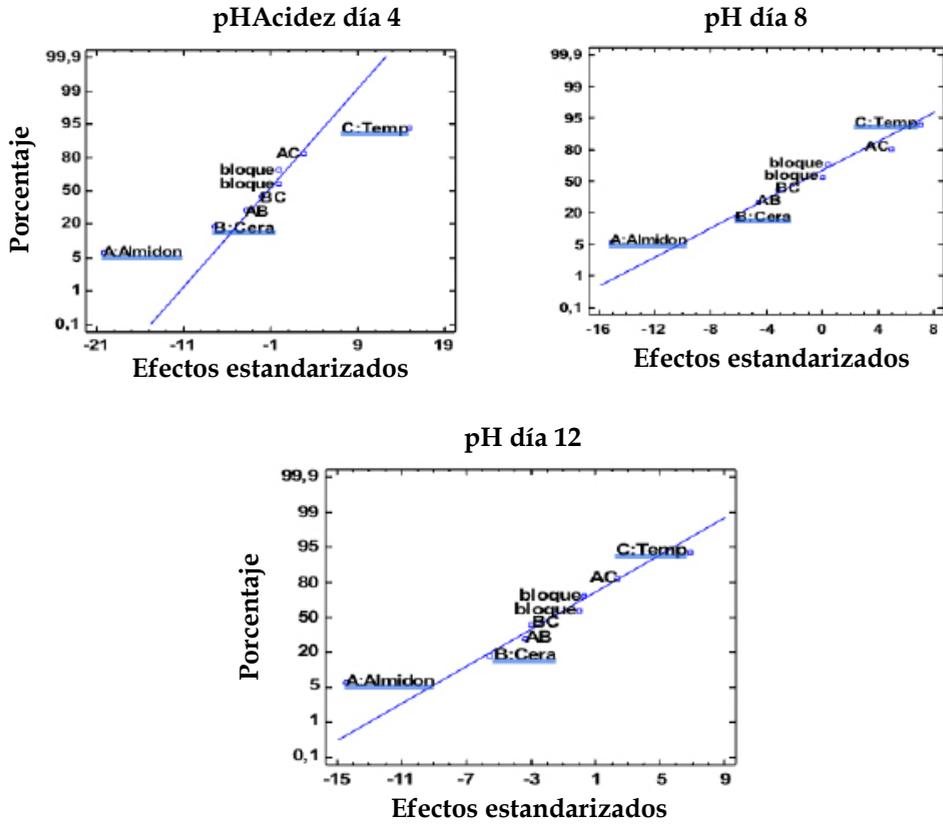
Anexo 6B. Efectos estandarizados de la acidez (día 4-8-12).



Anexo 6C. Efectos estandarizados índice de madurez (día 4-8-12).



Anexo 6D. Efectos estandarizados pH (día 4-8-12).



Los autores

Rafael Enrique Olivero Verbel. Es ingeniero de alimentos de la Universidad de Cartagena, magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos y candidato a Doctor en Ciencias. Sus principales áreas de investigación son la ciencia y tecnología de alimentos y la gestión de la calidad. Actualmente, se desempeña como docente investigador del programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad del Atlántico, donde ha trabajado en varias investigaciones sobre clarificantes naturales.

Dubán Miranda Hernández. Joven investigador. Realizó estudios primarios y secundarios en el Instituto Técnico Industrial Blas Torres de la Torre "ITIDA", graduado como mejor estudiante de su especialidad. Es ingeniero agroindustrial. Actualmente, realiza estudios de especialización en Gerencia de Proyectos en la Universidad Simón Bolívar.

Alexy Flórez Vergara. Es ingeniero de alimentos, magíster y doctor (PhD) Cum Laude en Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología por la Universidad Politécnica de Cataluña (España). Sus líneas de investigación son la producción y transformación de productos de origen animal y vegetal, el diseño de plantas agroindustriales y la elaboración de alimentos mínimamente procesados. Autor de diversas publicaciones de carácter científico, entre las que destacan libros, capítulos de libros y artículos en revistas especializadas, cuenta con más de doce años de experiencia docente e investigativa. Actualmente, se desempeña como docente de planta del programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad del Atlántico (Colombia).