

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias
Alimentarias



EFEECTO DEL QUITOSANO COMO REVESTIMIENTO
COMESTIBLE EN YACÓN (*Smallanthus sonchifollus*)
MÍNIMAMENTE PROCESADO PARA AUMENTAR SU VIDA ÚTIL

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR LA BACHILLER

NOEMÍ RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

ASESOR:

Ing. M.Sc. Jimmy Frank Oblitas Cruz

CAJAMARCA – PERU

2017

INDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| <i>DEDICATORIA</i> | 9 |
| <i>AGRADECIMIENTO</i> | 10 |
| RESUMEN..... | 11 |
| ABSTRAC | 12 |
| I. INTRODUCCION | 13 |
| 1.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 14 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 15 |
| 1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN | 15 |
| 1.3.1. Objetivo General | 15 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 15 |
| 1.4 . HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN | 16 |
| II. REVISION DE LITERATURA | 17 |
| 2.1. ANTECEDENTES | 17 |
| 2.2. PRODUCTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS O DE IV GAMA | 20 |
| 2.2.1. Problemas más frecuentes en almacenaje de productos de IV gama | 20 |
| Color y sabor | 21 |
| 2.2.2. Fisiología de los productos mínimamente procesados..... | 21 |
| 2.2.3. Operaciones unitarias en alimentos de IV gama | 26 |
| 2.2.4. Atributos de la calidad en productos de IV gama | 28 |
| 2.3. PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES | 30 |
| 2.3.1. Definición..... | 30 |
| 2.3.2. Tipos de películas y recubrimientos comestibles | 30 |
| 2.3.3. Características de aditivos formadores de películas y recubrimientos comestibles | 36 |
| 2.3.4. Preparación de recubrimientos comestibles | 38 |
| 2.3.5. Mecanismos de formación de película comestible y recubrimiento comestible | 39 |

| | |
|--|----|
| 2.3.6. Métodos de aplicación de película comestible y recubrimiento comestible . | 40 |
| 2.3.7. Factores que afectan la calidad del producto | 40 |
| 2.3.8. Principales propiedades de película comestible y recubrimiento comestible | 41 |
| 2.4. QUITINA Y QUITOSANO..... | 43 |
| 2.4.1. Quitina..... | 43 |
| 2.4.2. Quitosano | 43 |
| 2.4.3. Diferencias en la estructura química del quitosano y la quitina..... | 44 |
| 2.4.4. Desacetilación de la quitina..... | 45 |
| 2.4.5. Fuentes de quitina..... | 46 |
| 2.4.6. Propiedades fisicoquímicas del quitosano..... | 47 |
| 2.4.7. Propiedades biológicas del quitosano y sus películas | 48 |
| 2.4.8. Aplicaciones del quitosano en la industria alimentaria | 50 |
| 2.4.9. Biopelículas de quitosano..... | 52 |
| 2.5. YACÓN..... | 53 |
| 2.5.1. Composición química de las raíces de yacon..... | 54 |
| 2.5.2. Poscosecha de raíces de yacón y contenido de FOS | 55 |
| III. MATERIALES Y METODOS..... | 57 |
| 3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN | 57 |
| 3.2 MATERIALES..... | 57 |
| 3.2.1 Material y equipo de laboratorio | 57 |
| 3.3. METODOLOGÍA | 58 |
| 3.3.1. Optimización el recubrimiento comestible a base de quitosano. | 58 |
| 3.3.2 Determinación de vida útil del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano | 62 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 65 |
| 4.1. PARDEAMIENTO Y °BRIX DEL YACÓN MÍNIMAMENTE PROCESADO | 65 |
| 4.2. OPTIMIZACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE QUITOSANO | 66 |
| 4.2.1. Análisis para la variable color (CIEL*a*b*)..... | 66 |
| 4.2.2. Análisis para la variable dependiente °Brix | 74 |
| 4.3. DETERMINACIÓN DE VIDA ÚTIL POR EL MÉTODO PROBABILÍSTICO DE WEIBULL | 77 |
| 4.3.1. Color..... | 81 |
| 4.3.2. Sabor..... | 82 |

| | |
|---------------------------|-----|
| V. CONCLUSIONES | 85 |
| VI. RECOMENDACIONES | 86 |
| VII. BIBLIOGRAFIA | 87 |
| VIII. ANEXOS | 96 |
| IX. GLOSARIO | 102 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Principales problemas de los frutos y vegetales frescos cortados | 21 |
| Tabla 2. Aplicaciones del quitosano en la industria de los alimentos | 51 |
| Tabla 3. Composición química de las raíces de yacon | 54 |
| Tabla 4. °Brix y pardeamiento del yacon mínimamente procesado en los tres diseños realizados | 65 |
| Tabla 5. Análisis de varianza para la coordenada de color L* | 67 |
| Tabla 6. Análisis de varianza para la coordenada de color a* | 67 |
| Tabla 7. Análisis de varianza para la coordenada de color b* | 68 |
| Tabla 8. Optimización de respuesta para coordenada de color L* | 73 |
| Tabla 9. Optimización de respuesta para coordenada de color a* | 74 |
| Tabla 10. Optimización de respuesta para coordenada de color b* | 74 |
| Tabla 11. Análisis de varianza para la variable °Brix | 75 |
| Tabla 12. Optimización de respuesta para la variable de respuesta °Brix | 77 |
| Tabla 13. Aceptación / rechazo de color de los panelistas que probaron las muestras de Yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano a diferentes tiempos de almacenamiento de 7°C- 8°C | 78 |
| Tabla 14. Aceptación / rechazo de sabor de los panelistas que probaron las muestras de Yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano a diferentes tiempos de almacenamiento de 7°C- 8°C | 78 |
| Tabla 15. Conteo de las pruebas sensoriales para color: Aceptación (SI) y Rechazo (NO) | 79 |
| Tabla 16. Conteo de las pruebas sensoriales para sabor: Aceptación (SI) y Rechazo (NO) | 80 |
| Tabla 17. Riesgo “h”, riesgo acumulativo “H” para color | 81 |

| | |
|---|----|
| Tabla 18. Riesgo “h”, riesgo acumulativo “H” para sabor | 82 |
|---|----|

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Diagrama del proceso para la elaboración de frutas y hortalizas de IV gama | 26 |
| Figura 2. Recubrimiento o película en bicapa (a) y emulsificada (b)..... | 38 |
| Figura 3. Estructura química de la quitina..... | 44 |
| Figura 4. Estructura química del quitosano | 45 |
| Figura 5. Desacetilación de la quitina | 46 |
| Figura 6. Flujograma de procesamiento de yacón mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano | 58 |
| Figura 8. Implementación de sistema para adquirir imágenes digitales..... | 62 |
| Figura 9. Gráfica de efectos principales para la coordenada de color L* | 69 |
| Figura 10. Gráfica de efectos principales para la coordenada de color a* | 69 |
| Figura 11. Gráfica de efectos principales para la coordenada de color b* | 70 |
| Figura 12. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la coordenada de color L*..... | 72 |
| Figura 13. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la coordenada de color a* | 72 |
| Figura 14. Gráfico de Superficie de Respuesta Estimada para la coordenada de color b* | 73 |
| Figura 15. Gráfica de efectos principales para la variable °Brix | 75 |
| Figura 16. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la variable °Brix | 76 |
| Figura 17. Gráfico de Riesgo de Weibull para Color | 81 |
| Figura 18. Gráfico de Riesgo de Weibull para sabor | 82 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 01: Encuesta..... | 96 |
| Anexo 02: Imagen de quitosano en escamas..... | 97 |
| Anexo 03: Yacón morfotipo III (Hualqui)..... | 97 |
| Anexo 04: Imagen de solución de recubrimiento comestible a 0.5% p/v de quitosano.. | 98 |
| Anexo 05: Imagen de solución de recubrimiento comestible a 1.75% p/v de quitosano..... | 98 |
| Anexo 06: Imagen de solución de recubrimiento comestible a 3% p/v de quitosano..... | 98 |
| Anexo 07: Imagen de yacon mínimamente procesado sumergido en solución de recubrimiento comestible a base de quitosano..... | 99 |
| Anexo 08: Imagen de yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano en 3 concentraciones diferentes y sin recubrimiento comestible tomadas en el séptimo día..... | 99 |
| Anexo 09: Imagen del envasado del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano..... | 100 |
| Anexo 10: Tiempo de vida útil del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano referente al color y sabor en el papel probabilístico Weibull..... | 101 |

DEDICATORIA

A Dios

A mi familia

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por sus cuidados y por tener una familia maravillosa en especial mis padres y abuelos que me supieron inculcar con buenos valores y por su apoyo incondicional para desarrollarme como profesional.

Agradezco a mi asesor el Ing. Jimy Oblitas Cruz por ayudarme en el desarrollo de mi proyecto.

Agradezco al Ing. Max Sangay por ayudarme a conseguir el quitosano.

RESUMEN

Se propone en este estudio la aplicación de un recubrimiento comestible a base de quitosano al yacon mínimamente procesado con la finalidad de prolongar su vida útil sensorial. Para tal estudio se llevó a cabo la optimización del recubrimiento comestible, por lo que se preparó 3 soluciones de recubrimiento a concentraciones de 0.5% p/v, 1.75% p/v y 3.0% p/v de quitosano. Se sumergieron rodajas de yacon en cada una de las soluciones preparadas durante 2 minutos, luego fueron drenadas y secadas con la ayuda de un secador artificial a una temperatura de 14°C durante 30 minutos, envasados en envases de poliestireno y cubiertas con un film de PVC (cloruro de polivinilo) para alimentos, y finalmente almacenadas a una temperatura de 7 a 8°C. Se almacenaron 7 días, durante ese periodo se midieron los parámetros de °Brix (sólidos solubles) y pardeamiento (mediante las coordenadas de color CIEL*a*b*) de cada uno de los tratamientos realizados los días 1, 4 y 7. Luego se trabajó con la metodología de superficie de respuesta para optimizar el recubrimiento comestible; siendo a una concentración de 0.5% p/v de quitosano. Con la concentración del recubrimiento comestible óptimo, se procedió a preparar muestras con el mismo procedimiento anterior para determinar la vida útil sensorial del yacón mínimamente procesado con recubrimiento a base de quitosano para los atributos de color y sabor mediante el Método Gráfico de Ploteo de Riesgos Acumulados de Weibull ; dando como resultado 5 días de vida útil, almacenados a una temperatura de 7°C-8°C.

Palabras clave: Alimentos de IV gama, película comestible (PC), recubrimiento comestible (RC), quitosano, yacon (*Smallanthus Sonchifollus*).

ABSTRAC

The application of an edible coating based on chitosan to the minimally processed yacon is proposed in this study in order to prolong its sensory useful life. For this study the optimization of the edible coating was carried out, for which 3 coating solutions were prepared at concentrations of 0.5% w / v, 1.75% w / v and 3.0% w / v chitosan. Yacon slices were immersed in each of the solutions prepared for 2 minutes, then they were drained and dried with the help of an artificial dryer at a temperature of 14 ° C for 30 minutes, packed in polystyrene containers and covered with a plastic film. PVC (polyvinyl chloride) for food, and finally stored at a temperature of 7 to 8 ° C. They were stored for 7 days, during that period the parameters of ° Brix (soluble solids) and browning (by the color coordinates CIEL * a * b *) of each of the treatments performed on days 1, 4 and 7 were measured. We worked with the response surface methodology to optimize the edible coating; being at a concentration of 0.5% w / v of chitosan. With the concentration of the optimum edible coating, samples were prepared with the same procedure above to determine the sensory life of the minimally processed yacon with a coating based on chitosan for the color and flavor attributes by means of the Graphical Method of Plotting Accumulated Risks of Weibull; resulting in 5 days of shelf life, stored at a temperature of 7 ° C-8 ° C.

Key words: IV range foods, edible film (PC), edible coating (RC), chitosan, yacon (*Smallanthus Sonchifollus*).

I. INTRODUCCION

El quitosano es un biopolímero, que ofrece un amplio potencial que puede ser aplicado a la industria alimentaria debido a sus propiedades fisicoquímicas particulares tales como biodegradabilidad, biocompatibilidad con los tejidos humanos, el no ser tóxico y en especial sus propiedades antimicrobianas y antifúngicas. Estos aspectos lo hacen de vital interés para la preservación de alimentos y las tecnologías emergentes (Aider 2010).

Nuevas investigaciones y revisiones recientes frente al uso de quitosano reúnen diversa información referente al efecto de su grado de desacetilación sobre la actividad antimicrobiana, su uso dentro del diseño de nuevos films basados en compuestos bioactivos y su interacción frente a otros componentes que hacen parte de los alimentos frescos y mínimamente procesados, tratados con esta tecnología (Devlieghere *et al.* 2004; Aider 2010; Martinez-Camacho *et al.* 2010).

El desarrollo de películas y recubrimientos comestibles aplicados a productos hortofrutícolas tanto frescos como mínimamente procesados a generado recientes avances respecto al efecto sinérgico de los componentes sobre la vida de anaquel de dichos alimentos. El uso de hidrocoloides, plastificantes, aditivos y compuestos activos, tiene como objetivo generar una atmosfera modificada (AM) que tiene la capacidad de controlar la transferencia de masa representada en solutos, solventes, gases (O₂, CO₂) e incluso 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 (Quintero, C. *et al.* 2010).

1.1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Las raíces de yacon luego de la cosecha presentan un deterioro físico, Muñoz (2009), expone diferentes aspectos que reflejan el deterioro como lo es la deshidratación que genera una pérdida de peso y apariencia rugosa en superficie de la raíz tuberosa, para evitar este efecto propone que luego de ser cosechadas las raíces tuberosas deben localizarse en un lugar oscuro, seco y fresco. También señala que el yacon se consume como una fruta fresca, pero presenta limitaciones en la comercialización debido a su alta susceptibilidad a daños físicos y elevados costos de transporte que incrementan el precio aproximadamente a 5 soles por kilogramo de producto en fresco.

Diferentes estudios han demostrado que luego de la cosecha de las raíces de yacon empiezan un rápido proceso de cambio en la composición química de sus azúcares: Los fructooligosacáridos (FOS) son hidrolizados en azúcares simples por la acción de una enzima llamada fructano hidrolasa, que los convierte en fructosa, sacarosa y glucosa. Después de una semana en almacenamiento a temperatura ambiente, alrededor del 30 a 40% de los FOS se habrán transformado en azúcares simples (Graefe *et al.* 2004). Sin embargo, la velocidad de esta conversión es más lenta si se almacena el yacon a temperaturas de refrigeración (Asami *et al.* 1991). Las temperaturas de refrigeración son útiles también para reducir la tasa de pudrición y deterioro de las raíces durante el almacenamiento.

Para aprovechar mejor las propiedades funcionales del yacon, es preferible consumirlo en fresco, una de las formas sería mínimamente procesado, facilita en la compra, ya que estaría listo para ser consumido directamente como fruta o ser agregado en los jugos o refrescos.

En los últimos años con los avances de la tecnología se ha logrado conservar a frutas y hortalizas mínimamente procesadas aplicando técnicas de conservación, que combinadas o no, puedan mantener o mejorar las características originales del producto, alargando su vida útil sin que se pierdan las características sensoriales y nutricionales, asegurando además su estabilidad microbiológica. Dentro de las más usadas se encuentra el uso de agentes de higienización para la desinfección de la materia prima, el envasado en atmósfera modificada que permita controlar los procesos respiratorios típicos de los tejidos vivos, el empleo de agentes antioxidantes para evitar el oscurecimiento superficial, la aplicación de compuestos antimicrobianos para prevenir la proliferación de microorganismos causantes de alteraciones, y más recientemente el empleo de revestimientos comestibles.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál será el efecto del tiempo y la concentración de quitosano en un recubrimiento comestible para yacon mínimamente procesado para aumentar su vida útil?

1.3. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo General

Determinar el efecto del recubrimiento comestible a base de quitosano, aplicado al yacon mínimamente procesado para aumentar su vida útil.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Optimizar el recubrimiento comestible a base de quitosano usando la metodología de superficie de respuesta.
- Determinar el tiempo de vida útil sensorial para el atributo de color del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano.
- Determinar el tiempo de vida útil sensorial para el atributo de sabor del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano.

1.4 . HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El tiempo y la concentración de quitosano en un recubrimiento comestible para yacon mínimamente procesado, infuyen para aumentar su vida útil.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

El uso de recubrimientos para frutas y hortalizas es una práctica antigua que se desarrolló para imitar las cubiertas naturales de los productos vegetales comestibles. Existen reportes que datan de los siglos XII y XIII en los que se menciona que en China se realizaba la inmersión en cera de naranjas y limas para retardar la pérdida de agua (Bósquez 2003).

En los últimos 10 años. Se han realizado numerosos estudios científicos que demuestran que las PC (películas comestibles) y RC (recubrimientos comestibles) son una herramienta útil para mejorar la calidad de los alimentos vegetales mínimamente procesados debido a que forman una barrera semipermeable que reduce la pérdida de agua y de solutos, controlan el intercambio gaseoso incluida la velocidad de respiración (O_2 y CO_2) y la emisión de etileno, y disminuyen el riesgo de contaminación microbiológica, los desórdenes fisiológicos y los cambios bioquímicos relacionados con reacciones oxidativas (pardeamiento enzimático) y la pérdida de firmeza. Algunos de estos estudios han sido reunidos en distintos trabajos de revisión (Vargas *et al* 2008).

Durango *et al.* (2006), desarrollaron recubrimientos a base de almidón de ñame (*Dioscorea sp.*) y quitosano, preparados por termo-gelatinización usando suspensiones de 4% de almidón de ñame (w/w) y 2% de glicerol (w/w). El quitosano fue agregado en concentraciones de 0.5% y 1.5% (w/w). La máxima actividad antimicrobiana se obtuvo en el RC que contenía 1.5% (w/w) de quitosano y fue totalmente eficiente sobre el crecimiento de mohos y levaduras. A esta concentración el conteo de este grupo de microorganismos se redujo en 2.5 ciclos logarítmicos en los trozos de zanahoria que se almacenaron durante 15 días. El recubrimiento con una concentración de 0.5% (w/w) de quitosano controló el desarrollo de mohos y levaduras durante los primeros 5 días de

almacenamiento. Después de este tiempo las muestras evaluadas generaron un conteo similar al de la muestra control. Como resultado general, el uso de recubrimientos antimicrobianos basados en quitosano (1.5% w/w) y almidón de ñame muestra que es una alternativa viable en el control de microbiota presente en zanahorias mínimamente procesadas, ya que se logró inhibir sustancialmente el crecimiento de bacterias ácido lácticas, coliformes totales, microorganismos psicrótrofos, aerobios mesófilos, mohos y levaduras.

Ribeiro *et al.* (2007), estudiaron la capacidad de recubrimientos a base de polisacáridos (almidón, carragenina y quitosano) para extender la vida de anaquel de frutos de fresa (*Fragaria ananasa cv. Camarosa*) y su posible aplicación industrial. La mejor humectabilidad se logró con combinaciones de 2.0% de almidón y 2.0% de sorbitol; 0.3% de carragenina, 0.75% de glicerol y 0.02% de Tween 80; 1.0% de quitosano y 0.1% de Tween 80 respectivamente. La permeabilidad al oxígeno en películas de carragenina representó aproximadamente el 40.0% del valor obtenido con películas de almidón. La adición de calcio a la solución formadora de la película a base de almidón produjo un incremento en el espesor del film, sin embargo no se obtuvieron diferencias significativas en la permeabilidad al oxígeno entre las que poseían calcio (CaCl_2) en su formulación y las que se preformaron sin la adición de dicha sustancia. El efecto de los recubrimientos sobre las frutas fue caracterizado a través de la determinación de cambios de color mediante cuantificación de los parámetros CIELab L^* , a^* y b^* , firmeza, pérdida de peso, sólidos solubles y crecimiento microbiano durante 6 días. Al final no se encontraron diferencias significativas en el color, la mínima pérdida de firmeza fue obtenida en frutos recubiertos con carragenina adicionada con cloruro de calcio. La pérdida mínima de masa se obtuvo con recubrimientos comestibles basados en carragenina y quitosano adicionados con cloruro de calcio. La menor tasa de crecimiento

microbiano se observó en fresas recubiertas con quitosano y cloruro de calcio. Por último la aplicación a nivel industrial de RC de carragenina enriquecidos con CaCl_2 , produjo una disminución en la pérdida de firmeza en el fruto en contraste con las frutas que no fueron adicionadas con el RC.

Williams *et al.* (2011), Se propone en este estudio la aplicación de películas comestibles, derivados de quitosano para prolongar la vida útil de mango (*Mangifera indica*) mínimamente procesado. Las condiciones experimentales fueron identificadas basadas en la metodología de superficie de respuesta (RSM) usando el diseño de Box-Behnken. (3 niveles para cada factor-variables independientes). Las variables independientes consideradas fueron: concentración de ácido cítrico [0,5 a 2,5% (p/p)], ácido oleico [0,4 a 1,6% (p/p)] y quitosano [0,50 a 2,5% (p/p)]. Los cubos de mango cubiertos con la película fueron escurridos, y puestos en bolsas de polietileno y almacenados a 5°C. Los cubos fueron mantenidos a 5°C por 96 horas, luego se evaluaron los siguientes parámetros °Brix, pH, Acidez, y presencia de mohos y levaduras. Los modelos se validaron mediante la metodología de la validación cruzada (95% de confiabilidad), aplicando el método de la función deseada con las restricciones de 15 a 16 °Brix, pH de 4,0 a 4,5 y ausencia de mohos y levaduras (valor de 2), se optimizó la película comestible en concentración de ácido cítrico 1,41% (p/p), ácido oleico 0,70% (p/p) y quitosano 1,29% (p/p).

Bajo estas condiciones, el mango mínimamente procesado mantiene buena calidad por 20 días a temperaturas de refrigeración y congelación.

Rico *et al.* (2013), determinaron los parámetros de calidad del mango mínimamente procesado con recubrimientos de quitosano al 1% y aceites esenciales al 1%. La firmeza del mango con recubrimiento de quitosano y aceites esenciales se mantiene a lo largo de su vida de almacenamiento (11 días).

2.2. PRODUCTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS O DE IV GAMA

Se entiende por “Cuarta Gama” o “producto mínimamente procesado” aquellas hortalizas y frutas frescas, procesadas, limpias, trozadas y envasadas para su consumo. El producto mantiene sus propiedades naturales y frescas, pero con la diferencia que ya viene lavado, trozado y envasado. La vida útil del producto es corta, si bien debe tener condiciones de almacenamiento adecuadas (Díaz y Fraga 2003).

Los productos IV Gama también tienen como ventajas la reducción del espacio durante el transporte y almacenamiento, menor tiempo de preparación de las comidas, calidad uniforme y constante de los productos durante todo el año, posibilidad de inspeccionar la calidad del producto en la recepción y antes del uso, y a menudo son más económicos para el usuario debido a la reducción de desperdicios (Rotondo *et al.* 2008).

Las tecnologías tradicionalmente empleadas en la conservación de productos cuarta gama son la refrigeración (como requisito indispensable tanto en las etapas de producción, como de distribución, almacenamiento y comercialización) y el envasado en atmósfera modificada o también llamado “empacado al vacío” (Rotondo *et al.* 2008).

2.2.1. Problemas más frecuentes en almacenaje de productos de IV gama

Dentro de los factores internos están en primer lugar la respiración y emisión de etileno, ya que a mayor respiración y producción de etileno, menor es la vida comercial de estos productos (aplicación de atmósfera controlada y bajas temperaturas controlan esto). En segundo lugar está la acidez del medio, debido a que a pH menores a 4,5 se inhibe, en general, el crecimiento bacteriano, aunque se desarrollan microorganismos del género fúngico y bacterias acidófilas. En tercer lugar está el estado de madurez lo cual determina la calidad de la materia prima que es procesada (Artés 2000).

Los factores externos que comúnmente destacan son: los cuidados en la manipulación y elaboración (desgarros en los cortes, tamaños y homogeneidad de los mismos, higiene rigurosa y sistemática, temperatura adecuada); elección de un envase de permeabilidad selectiva adecuada al producto (Rojas 2005).

Salinas-Hernández *et al.* (2007) señalan que las principales limitantes de la vida útil de las características sensoriales, microbiológicas y nutricionales de frutas y hortalizas procesadas están relacionadas con el corte y la exposición del tejido vegetal, afectando distintos atributos del producto (Tabla 1).

Tabla 1. Principales problemas de los frutos y vegetales frescos cortados

| Problema | Atributo afectado |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Incremento en la actividad metabólica | Sabor, color, vitaminas |
| Incremento en la actividad de agua | Sabor y textura |
| Incremento en la actividad enzimática | Color y sabor |
| Ablandamiento de los productos | Textura |
| Oxidación de vitamina C | Valor nutricional |
| Marchitamiento | Apariencia |
| Susceptibilidad al ataque microbiano | Sanidad y apariencia |
| Susceptibilidad a lesiones mecánicas | Apariencia y textura |

Fuente: Salinas-Hernández *et al.* 2007

2.2.2. Fisiología de los productos mínimamente procesados

Las operaciones preliminares requeridas para obtener productos mínimamente procesados, como la selección, pelado, descorazonado y cortado, resultan en el rompimiento y pérdida de la compartimentalización celular, con el consecuente aumento en la actividad enzimática y la aceleración de reacciones fisiológicas; como el incremento en la respiración, la cual causa un consumo acelerado de azúcares, lípidos y ácidos orgánicos, además de aumentar la producción de etileno, el cual induce la maduración y finalmente causa la senescencia. También ocurre deshidratación, acumulación de

metabolitos secundarios, formación de radicales libres, pardeamiento enzimático, y pérdida de firmeza. Al mismo tiempo se proveen las condiciones para el crecimiento microbiano (Silveira 2009). A continuación, se revisan los principales procesos fisiológicos afectados en mayor medida por el mínimo proceso:

2.2.2.1. Emisión de etileno

Esta fitohormona contribuye a la síntesis de enzimas involucradas en la maduración de la fruta como el ablandamiento de la pulpa, cambios de color en la piel del fruto, y desarrollo de sabor y aroma del mismo (Hiwasa *et al.* 2003). La emisión de etileno varía dependiendo del tipo de producto, lo que es de especial interés al enfrentarse al mínimo proceso de un fruto climatérica, como manzana o pera, que presentan un alza en la respiración, o a otras que no presentan esta alza y no experimentan un cambio marcado en sus características de calidad postcosecha (Toivonen y Brummell 2008).

El etileno producido por el tejido vegetal dañado induce la síntesis de enzimas asociadas a los procesos de maduración y senescencia del producto cortado, ligado a esto, el pelado y cortado presupone una liberación de enzimas y sustratos que facilitan e incrementan las reacciones enzimáticas incluyendo las asociadas a la respiración (Salinas-Hernández *et al.* 2007).

2.2.2.2. Pardeamiento enzimático

El pardeamiento enzimático se produce cuando se corta el tejido vegetal, lo cual produce ruptura celular y liberación de la enzima polifenoloxidasa, la cual cataliza la reacción entre el oxígeno y las moléculas libres de polifenoles, causando el pardeamiento del tejido (Hiwasa *et al.* 2003). El pardeamiento enzimático consiste en la oxidación de sustratos fenólicos a *O*-quinonas, moléculas muy reactivas que condensan rápidamente combinándose con otros grupos amino o sulfhidrilo de las proteínas y con azúcares

reductores, dando lugar a polímeros pardos, rojizos o negros, de alto peso molecular y estructura desconocida (Pérez 2003).

2.2.2.3. Ablandamiento

El ablandamiento de los productos mínimamente procesados ocurre como consecuencia de la disminución de la turgencia de los tejidos producto del corte, en parte por la degradación de la pared celular primaria donde se produce la solubilización y despolimerización de pectinas y hemicelulosas (Toivonen y Brummell 2008).

2.2.2.4. Tasa respiratoria

Como consecuencia de las operaciones propias del procesamiento se produce un alza inicial de la tasa respiratoria, para luego disminuir (Silveira 2009).

2.2.2.5. Crecimiento microbiano

Durante las operaciones de mínimo proceso como selección, corte, envasado y distribución, la superficie de los tejidos son expuestos a la posible contaminación de bacterias, hongos y levaduras (Allende *et al.* 2009).

2.2.2.5.1. Riesgos de frutas y hortalizas frescas cortadas

Los alimentos crudos son potencialmente más peligrosos que los alimentos que tienen un tiempo de cocción previo al consumo, ya que el calor destruye muchas de las toxinas producidas por los microorganismos incluyendo *Clostridium botulinum*, además de causar la muerte de patógenos infecciosos como *Escherichia coli O157:H7* (Tapia *et al.* 2005).

Existen diferentes motivos por los que el riesgo de contaminación con microorganismos en frutas frescas cortadas se incrementa con respecto a frutas frescas enteras (de Ancos y col. 2003 citado por Tapia *et al.* 2005):

- El proceso al que se les somete como pelado, cortado (trozos, rodajas, tiras, cubos, etc.), destruye la barrera natural de protección del vegetal, favoreciendo la salida de nutrientes (azúcares, etc.) y la contaminación con microorganismos alterantes o patógenos.
- El perfeccionamiento en el diseño inteligente de combinaciones de distintas tecnologías de conservación o barreras adecuadas a cada tipo de alimento, como la selección del envase (permeabilidad, películas impregnadas con antimicrobianos, etc.) temperaturas y atmósferas modificadas óptimas, ha permitido prolongar la vida útil de las frutas frescas cortadas el tiempo suficiente para que tenga lugar el crecimiento de algunos patógenos humanos que, en otras circunstancias, no hubieran podido alcanzar niveles infecciosos en tiempos de almacenamiento más cortos.

2.2.2.5.2. Incidencia de patógenos en frutas y hortalizas cortadas

Aunque las bacterias deteriorativas, levaduras y mohos dominan la microflora en frutas, se está documentando la presencia ocasional de bacterias patogénicas, parásitos y virus capaces de causar infecciones (Tapia *et al.* 2005).

Según Tapia *et al.* (2005), el patógeno más frecuentemente encontrado ha sido *Salmonella*, en melón. Sin embargo, se ha encontrado *Listeria monocytogenes* y *Shigella* en varios productos.

Según Beuchat (2002), todos los tipos de frutas y hortalizas tienen el potencial para albergar patógenos, pero *Shigella spp.*, *Salmonella*, *Escherichia coli* enterotoxigénica y enterohemorrágica, *Campylobacter spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolítica*, *Bacillus cereus*, *Clostridium botulinum*, virus y parásitos tales como *Giardia lamblia*, *Cyclospora cayetanensis*, y *Cryptosporidium parvum*, son los de mayor importancia en salud pública.

Durante el procesamiento de las frutas y hortalizas, la calidad del agua de lavado, la higiene (incluyendo la higiene de operarios, equipos y áreas) y el mantenimiento del producto a temperaturas de refrigeración, juegan un papel muy importante. La contaminación de las frutas frescas cortadas puede ocurrir en diferentes puntos de la cadena de procesamiento, considerándose como operaciones muy importantes, el lavado de las frutas y hortalizas (que reduce la carga microbiana que acompaña a la materia prima), el pelado y el cortado, que son procesos en los que el riesgo de contaminación por operarios o por equipos sucios, es mayor que cualquier otro (Tapia *et al.* 2005).

2.2.2.5.3. Medidas de control para reducir riesgos por patógenos en frutas y hortalizas frescas cortadas

Para minimizar los riesgos de infecciones o intoxicaciones asociadas a frutas y hortalizas frescas cortadas, se deben identificar las potenciales fuentes de contaminación desde la materia prima hasta su consumo en la mesa. Una primera medida es tener un proveedor de materia prima que garantice una buena calidad. Cada una de las etapas en el procesamiento de frutas y hortalizas frescas cortadas afecta la microflora del producto final, así como también la manipulación y post-procesamiento (Tapia *et al.* 2005).

2.2.3. Operaciones unitarias en alimentos de IV gama

El procesamiento mínimo de frutas y verduras se lleva a cabo como se indica en la figura 1.



Figura 1. Diagrama del proceso para la elaboración de frutas y hortalizas de IV gama

Fuente: González y Lobo 2005

2.2.3.1. Recepción y pre-enfriamiento

El objetivo de esta operación es reducir la temperatura del fruto u hortaliza cuando llega del campo a la recepción, hasta 1- 2 °C. A continuación, se almacena la materia prima en las condiciones de temperatura y humedad relativa recomendadas, según el producto, hasta empezar el procesamiento. Con esta etapa, se busca reducir los daños debido a procesos metabólicos y retardar la senescencia (González y Lobo 2005).

2.2.3.2. Lavado y desinfección

Se realiza para eliminar la suciedad, escombros, residuos de tierra y reducir la carga microbiana de los productos hortofrutícolas provenientes del campo. El agua de lavado debe tener una temperatura menor a 5°C y una calidad microbiológica aceptable (González y Lobo 2005).

2.2.3.3. Pelado y reducción de tamaño

El pelado puede ser mecánico o manual. El daño en la superficie celular del corte influye en la vida útil y calidad del producto, por tal motivo, el pelado mecánico genera mayor daño en los tejidos de las frutas y hortalizas (Laurila y Ahvenainen 2002).

La reducción del tamaño es la etapa donde las frutas y hortalizas se cortan en trozos pequeños y uniformes. El corte de los vegetales, aumenta la tasa de respiración, produce daño mecánico y ablanda los tejidos. Para reducir los efectos del pelado y cortado, se recomienda que el procesamiento de los productos hortofrutícolas de IV gama se realice a una temperatura menor o igual a 4°C (González y Lobo 2005).

2.2.3.4. Inmersión en aditivos

Luego del corte de las frutas y hortalizas, se realiza un lavado mediante inmersión del producto, a una temperatura entre 1 y 5°C, en aditivos alimentarios sintéticos y naturales, con el fin de remover azúcares u otros nutrientes de la superficie de corte que contribuyen al crecimiento microbiano y a la decoloración del tejido. La inmersión es un paso crítico, ya que es el único proceso que puede reducir la carga microbiana y mantener la calidad del producto (González y Lobo 2005).

2.2.3.5. Escurrido

Después de la inmersión del producto cortado, se retira el exceso de agua. En este proceso se debe eliminar al menos, el mismo contenido de humedad que el producto ganó durante el procesamiento. La eliminación del agua puede ser mediante escurrido, centrifugación o secado producto (González y Lobo 2005).

2.2.3.6. Empacado y distribución

El envase debe garantizar una máxima protección del producto, para evitar daños por vibración y compresión durante el transporte (González y Lobo 2005).

El transporte de los productos de IV gama debe ser a una temperatura mayor que el punto de congelación del producto. Posteriormente, en los almacenes frigoríficos y en las vitrinas la temperatura debe ser entre 1 y 4 °C. La inspección de la temperatura durante el transporte es la comercialización es primordial, ya que el aumento de ese parámetro cambia la atmósfera del empaque y se incrementa la tasa de respiración y producción de calor. Este aumento de temperatura incrementa el deterioro y se produce un ambiente favorable para el crecimiento microbiano (González y Lobo 2005).

2.2.4. Atributos de la calidad en productos de IV gama

2.2.4.1. Textura

La textura incluye las propiedades estructurales y mecánicas de los alimentos como: firmeza, frescura, jugosidad y dureza (Beaulieu 2011).

La textura es una de las características que más influye en la decisión de compra del consumidor. Los cambios de textura guardan relación con procesos enzimáticos y no enzimáticos. El proceso enzimático que promueve la pérdida de textura, ocurre por la polimerización de la poligalacturonasa a ácido poligalacturónico en la degradación enzimática de la pectina. La activación de la pectina metilesterasa, enzima catalizadora de la pectina, fortalece las paredes del producto hortofrutícola, debido al aumento de los enlaces entre la pectina y los cationes (Barry-Ryan y Martin-Diana 2007).

2.2.4.2. Apariencia y color

El principal criterio del consumidor para adquirir un producto es la apariencia. El color es una característica importante, el cual, junto con la textura, definen la frescura de la mayor parte de los productos vegetales (Barry-Ryan y Martin-Diana 2007).

El pardeamiento del tejido en la mayoría de productos de IV gama obedece a la actividad de la enzima polifenol oxidasa (PPO) y la peroxidasa (POD). Los compuestos fenólicos

reaccionan en presencia de O₂ y resulta en una pigmentación color marrón. A mayor concentración de polifenoles, el pardeamiento se presentará con mayor rapidez. Este factor reduce la calidad, limita la comercialización y el tiempo en estante de las frutas y hortalizas de IV gama (Barry-Ryan y Martin-Diana 2007).

Para determinar los cambios de color en los alimentos, se emplean diferentes métodos, tales como: colorímetro de superficie, atlas de color para productos cortados y enteros, y mediante entrenamiento a personas para realizar evaluaciones de calidad (Barry-Ryan y Martin-Diana 2007).

2.2.4.3. Sabor

El sabor incluye características como: dulzor, acidéz, astringencia, amargo, aroma y sabores desagradables. La determinación analítica de los componentes debe realizarse conjuntamente con evaluaciones subjetivas de panelistas, para obtener información beneficiosa y significativa sobre la calidad sensorial de las frutas y hortalizas frescas (Kader 2002).

Los compuestos aromáticos volátiles de frutas y hortalizas se originan en una serie de rutas biosintéticas, como las de carbohidratos, aminoácidos, ácidos grasos, alcoholes, aldehídos, esterés, furanos y compuestos que contienen nitrógeno y azufre. La pérdida de componentes volátiles en productos de IV gama es una consecuencia de la senescencia durante el almacenamiento provocado por mecanismos de difusión, catabólicos y metabólicos. Esta característica influye directamente en la decisión del consumidor, para comprar nuevamente el mismo producto (Beaulieu 2011).

2.2.4.4. Calidad nutricional

Los alimentos de IV gama son productos saludables que cubren las necesidades dietéticas de alimentos frescos. Luego del procesamiento de las frutas y hortalizas de IV gama, la

capacidad antioxidante puede aumentar o disminuir durante el almacenamiento (Barry-Ryan y Martin-Diana 2007).

Los múltiples cambios que sufren los productos hortofrutícolas durante la recolección, manejo y procesamiento afectan la actividad antioxidante. Al mantener las condiciones propicias para conservar las características sensoriales, también permiten preservar los nutrientes (Barry-Ryan y Martin-Diana 2007).

2.3. PELÍCULAS Y RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

2.3.1. Definición

Un recubrimiento comestible se puede definir como una matriz continua, delgada, que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento. Dichas soluciones formadoras del recubrimiento pueden estar conformadas por un polisacárido, un compuesto de naturaleza proteica, lipídica o por una mezcla de los mismos (Quintero *et al.* 2010). Mientras que la película comestible es una capa (o varias) fina de material polimérico comestible pero que es primero preformada y después colocada sobre el alimento o entre componentes del mismo (Valencia-Chamorro *et al.* 2011).

2.3.2. Tipos de películas y recubrimientos comestibles

2.3.2.1. Hidrocoloides

Los biopolímeros solubles en agua y de alto peso molecular son denominados comúnmente hidrocoloides. Las películas o recubrimientos formulados con hidrocoloides tienen aplicaciones en los casos en los que el control de la migración del vapor de agua no es el objetivo, ya que éstas son excelentes como barrera para la difusión del O₂, CO₂ y lípidos. (Muños 2011).

2.3.2.1.1. Polisacáridos

Debido a la naturaleza hidrofílica de estos polímeros, no tienen buenas propiedades de barrera contra la humedad, Sin embargo, ciertos polisacáridos cuando son utilizados en la forma de recubrimientos gelatinosos de alta humedad, que retardan la pérdida de humedad de algunos alimentos, durante periodos de almacenamiento cortos. Las películas de polisacáridos tienen buenas propiedades de barrera a los gases y pueden adherirse a superficies de frutas y vegetales (Ruíz 2009).

Los almidones: Conforman una película más fuerte por la amilosa, siendo un almidón no modificado, no tóxico, inodoro, insípido, incoloro y biodegradable. Con buenas propiedades mecánicas y químicas. Sin embargo al momento de aplicarlo en alimentos no responde como formador de película ya que no se dispersa en agua y al contacto con bajas temperaturas se forman geles irregulares, lo cual no es apropiado para el producto porque no garantiza la conservación del mismo (Baldwin *et al.* 2012).

Cuando los almidones son modificados, es decir hay una interacción de un ácido que rompe los enlaces glicosídicos haciendo cadenas de polímeros más cortas, provoca que se disperse en el agua más fácilmente al someterse a temperatura, formando un gel más fuerte y que conserva su viscosidad. El uso general de los almidones no es precisamente en PC o RC sino para estabilizar, texturizar y espesar alimentos (Baldwin *et al.* 2012).

Las pectinas: Polisacáridos altamente hidrofílicos que estabilizan, corrigen consistencia en geles y estabilizan la viscosidad en productos alimenticios; a su vez hacen parte de investigaciones para crear películas comestibles como en cítricos (Alvarez 2012).

Los derivados de las celulosas: Se encuentran el metil celulosa (MC) que crea películas en fármacos, etil celulosa (EC) del cual se forman películas permeables al agua e insolubles, hidroxipropilcelulosa (HPC), hidroxipropilmetil celulosa (HPMC) ayuda a regular la permeabilidad del agua y acetofalato de celulosa (AC); entre otros derivados

como el polioxi-etilénicos que ofrecen a la película tener flexibilidad, resistencia y solubilidad en agua. Los vinílicos elaboran películas quebradizas, transparentes, adherentes e higroscópicas. Por último los acrílicos que como películas son permeables, incoloros, brillantes, adhesivos, soportan la luz, el aire y ataques microbianos (Hernández *et al.* 2007).

La carragenina: Originario de algas rojas es generalmente un estabilizante por dar buenas cualidades al gelificar y espesar en: suero lácteo, leche, chocolates, carnes, budines, embutidos productos farmacéuticos y geles (Calderon 2013). Como película previene el pardeamiento, la pérdida de peso y firmeza en el producto, disminuyendo la tasa de respiración, confirmando la eficiencia respecto a la conservación del producto en almacenamiento. Aplicado en banano y manzana como recubrimiento (Baldwin *et al.* 2012).

El alginato: Constituido como sales del ácido algínico, polisacáridos lineales. La propiedad de gelificación del alginato en presencia de cationes polivalentes es útil en la formación de RC y PC y agente que encapsula (Calderon 2013). Ofrece propiedades excelentes para la elaboración de un recubrimiento comestible, tales como transparencia, solubilidad en agua, brillo, inhibición en la tasa de respiración, eficiencia como barrera de vapor de agua; adicionalmente acondicionándose como una atmósfera modificada y minimizando el daño por microorganismos. Sin embargo, para que el alginato sea considerado como recubrimiento necesita de plastificantes para lograr ser más flexible, pero sin posibilidad de mostrar fragilidad; además de compuestos lipídicos que ayudan a disminuir el efecto del vapor de agua (Baldwin *et al.* 2012). Por otro lado, se ha demostrado mediante investigaciones que el alginato como recubrimiento mantiene la vida útil durante el almacenamiento de frutos como manzanas mínimamente procesadas, zanahorias, melón, papaya y lechuga entre otros alimentos (Baldwin *et al.* 2012).

El quitosano: El quitosano es insoluble en agua y tiene la propiedad de formar películas por sí solo (Jeon *et al.* 2002). Altamente biocompatibles (Raafat y Sahl 2009), transparentes e incoloras (Park *et al.* 2002), lo que facilita su aplicación en la superficie de los alimentos.

El quitosano posee propiedades únicas que lo hacen un ingrediente ideal para el desarrollo de películas comestible y su aplicación en sistemas alimentarios como agente antimicrobiano, ya que presenta una baja toxicidad, con un DL50 = 16 ml/kg, valor que sitúa al quitosano en un nivel similar a la azúcar y lo hace menos tóxico que la sal (Romanazzi *et al.* 2002).

Proteínas: Las películas de proteínas poseen mayor resistencia al vapor de agua que el resto de los hidrocoloides solubles en agua. Son susceptibles al cambio de pH, pueden proporcionar un valor nutricional agregado al producto, son buenas formadoras de películas y se adhieren a superficies hidrofílicas. (Baldwin *et al.* 1995) citado por (Ruíz 2009).

La zeína: Proteína empleada como recubrimiento comestible para alimentos y medicamentos, extraída del maíz. De la zeína se obtienen soluciones alcohólicas que ayudan a crear un RC con buena barrera al vapor de agua, al termo sellado, buen brillo; pero a su vez son más frágiles haciendo que necesiten un aumento de plastificante (Marzo 2010). La zeína se ha utilizado e investigado como recubrimiento en productos como confitería y manzanas (Baldwin *et al.* 2012).

La soya: Como proteína, tiene la capacidad de formar recubrimientos, ya que posee barrera a los lípidos y al oxígeno. Esta proteína para que sea más flexible y no se agriete necesita plastificante según Saavedra y Algecira (2010). Ha sido útil en reducir la oxidación de los lípidos y retención humedad en salmón durante el almacenamiento entre otros usos como recubrimiento (Baldwin *et al.* 2012).

Las proteínas del suero de la leche: También conforman parte de los materiales para la formación de películas comestibles transparentes, flexibles y blandas; además 55 de ser de baja barrera respecto a la humedad por su carácter hidrófilo y no requieren de una cantidad numerosa de plastificante (Baldwin *et al.* 2012).

La caseína: Estructura películas que son transparentes y flexibles pero con baja barrera al vapor de agua, sin embargo estas propiedades de barrera a la humedad mejoran al introducir en la mezcla materiales hidrófobos; Respecto a la caseína también se ha investigado que el dióxido de carbono precipita la caseína formando películas no tan solubles y con una permeabilidad de agua también baja. Esta clase de recubrimientos se han desarrollado en manzanas, zanahorias, cítricos entre otros (Baldwin *et al.* 2012).

El colágeno: Forma películas con excelente barrera al oxígeno, pero no se comporta igual con el vapor de agua, son claras, flexibles y fuertes; para la formación de estas es importante el grado de hidratación, el peso molecular, el método de preparación y el plastificante. En la mayoría de los casos ha sido estudiado en productos cárnicos (Baldwin *et al.* 2012).

2.3.2.2. Lípidos

Los compuestos lipídicos utilizados como revestimiento de protección consisten en monoglicéridos acetilados, cera natural, y surfactantes. Las sustancias lipídicas más eficaces son la cera de parafina y cera de abejas. La función principal de una capa de lípidos es bloquear el transporte de humedad debido a su baja polaridad relativa. Por el contrario, la característica hidrófoba de los lípidos forma películas gruesas y frágiles (Muños 2011).

Por otro lado la razón por la cual los lípidos para recubrimientos comestibles son la matriz de soporte y necesiten de otros compuestos de otra naturaleza, es porque no tienen una estructura completa, es decir son quebradizos por sus propiedades hidrófobas (Marzo

2010). Igualmente está comprobado que para los productos frescos cortados en conservación, el mejor recubrimiento es la mezcla de los compuestos hidrófilos con lípidos (Baldwin *et al.* 2012).

Entre los ácidos grasos con mejor barrea a vapor de agua en un RC se encuentra el ácido oleico, palmítico y cera de abejas según estudios en manzanas cortadas. Así como la cera de candelilla como parte del recubrimiento que ofrece propiedades antioxidantes en el aguacate; al igual que en las berenjenas con RC cera de carnauba y de abejas con proteína de soja (Baldwin *et al.* 2012).

Ceras y parafina: La cera de parafina se deriva de la fracción de destilados de petróleo crudo y se compone de una mezcla de hidrocarburos sólidos resultantes de la polimerización catalítica de etileno. La cera de parafina es permitida para su uso en frutas frescas, vegetales y queso (Muños 2011).

Según Muños (2011) las ceras se utilizan como barrera al gas y la humedad (piel de las frutas frescas) y para mejorar la apariencia de la superficie de varios alimentos (por ejemplo, el brillo de dulces). Si se aplica como una capa gruesa, deben ser retirados antes del consumo (algunos quesos), cuando se utiliza en capas delgadas, se consideran comestibles.

2.3.2.3. Compuestos

Formulaciones mixtas de hidrocoloides y lípidos que aprovechan las ventajas de cada grupo y disminuyen los inconvenientes. En general, los lípidos aportan resistencia al vapor de agua y los hidrocoloides, permeabilidad selectiva al O₂ y CO₂, la duración del film y la buena cohesión estructural o integridad del film (Pastor *et al.* 2005).

El principal objetivo de producir películas compuestas es mejorar la permeabilidad y las propiedades mecánicas según lo dictado por la necesidad del alimento. Estas películas

heterogéneas se aplican ya sea en forma de emulsión, suspensión, dispersión de los componentes no miscibles, en capas sucesivas (revestimiento multicapa o películas) o en forma de solución en un solvente común. (Bourtoom 2008).

2.3.3. Características de aditivos formadores de películas y recubrimientos comestibles

2.3.3.1. Plastificantes

Según Ruiz (2004) los plastificantes son sustancias de bajo peso molecular que son incorporadas dentro de la matriz polimérica para incrementar la flexibilidad de la cubierta, la dureza y funcionamiento, disminuyendo la formación de escamas y grietas en la superficie de las películas comestibles. Entre los más comunes están glicerol, sorbitol, manitol, sacarosa, entre otros, cuya función es debilitar las fuerzas moleculares entre cadenas de polímeros adyacentes, mejorando las propiedades mecánicas de las películas y recubrimientos (Krochta 2002).

Actualmente, la mayoría de los recubrimientos formulados con polisacáridos como las gomas, son adicionados con glicerol, utilizándolo para garantizar mayor propiedad de barrera a la pérdida de agua, debido a su naturaleza hidrofílica (Rojas *et al.* 2007).

La selección de un plastificante requiere la consideración de tres criterios básicos, aparte del coste (Sothornvit y Krochta 2005):

- **La compatibilidad:** depende de la polaridad, forma y tamaño del plastificante. Las mejores compatibilidades se observan cuando el plastificante y el polímero tienen una estructura química similar.
- **La eficiencia:** generalmente, los buenos plastificantes proporcionan una elevada plastificación a bajas concentraciones y presentan una elevada difusión e interacción con el polímero.

- **La permanencia:** depende del tamaño de la molécula y del coeficiente de difusión en el polímero

2.3.3.2. Emulsificantes

La naturaleza física de la región interfacial es crucial para obtener una emulsion de alta calidad y para conseguirla frecuentemente se adicionan emulsificantes: la función principal de los emulsificantes es de promover y/o estabilizar una emulsion (Bosquéz 2003).

En concreto un emulsificante no necesariamente confiere estabilidad duradera, sino simplemente tiene la capacidad de adsorberse rápidamente en la interface recién creada durante la emulsificación, mientras que la estabilidad a largo plazo usualmente es conferida por las proteínas y polisacáridos (Bosquéz 2003).

En el área de alimentos algunos emulsificantes con mayor so son la lecitina, mono glicéridos acetilados, mono palmitato de glicerol, diversas proteínas, acidos grasos o polisorbatos como el Tween (Quesada-Gallo 2009).

2.3.3.3. Antimicrobianos

Los antimicrobianos se utilizan para controlar el crecimiento de mohos, levaduras y bacterias, son compuestos usados para retardar o prevenir el deterioro fisicoquímico o microbiológico de los alimentos, los cuales pueden deteriorarse a través de cambios adversos causados por la presencia de enzimas, oxígeno, luz perdida de humedad o más importante la acción de microorganismos. Los antimicrobianos pueden tener al menos tres tipos de acción sobre el microorganismo (García 2004):

- Inhibición de la biosíntesis de los ácidos nucleicos o de la pared celular.
- Daño a la integridad de las membranas.
- Interferencia con la gran variedad de procesos metabólicos esenciales.

Los sorbatos (ácido sórbico y sus sales de potasio) son aditivos considerados GRAS, y son los antimicrobianos más usados particularmente debido a que son activos contra levaduras, hongos y muchas bacterias (Flores *et al.* 2010). También son utilizados los ácidos orgánicos (acético, benzoico y láctico), polipeptidos (lisozima, peroxidasa y nisina), aceites esenciales (de oregano, canela y citronella), quitosano, nitritos, sulfitos (Martin Belloso *et al.* 2009).

2.3.4. Preparación de recubrimientos comestibles

2.3.4.1. Los recubrimientos laminados: Son los que se componen de una bicapa sobre un polisacárido (Baldwin *et al.* 2012).

Se ha reportado en la literatura que los recubrimientos en bicapa son más eficaces que sirven de barrera contra la transpiración de agua, más sin embargo una de las principales desventajas de estos recubrimientos en bicapa es que su elaboración requiere de 4 pasos, siendo dos aplicaciones y 2 etapas de secado (Bosquéz 2003). Mostrándose en la figura 2 (a)

2.3.4.2. Los recubrimientos emulsionados o conglomerados: Se adhieren más rápido a los frutos porque son los que se componen de una mezcla homogénea, donde el lípido se dispersa sobre la fase hidrófila; haciendo que la manipulación sea menor, puesto que solo se aplica una sola vez sobre el producto, de esta forma solo existe una etapa de secado después del recubrimiento (Baldwin *et al.* 2012). Mostrándose en la figura 2 (b).

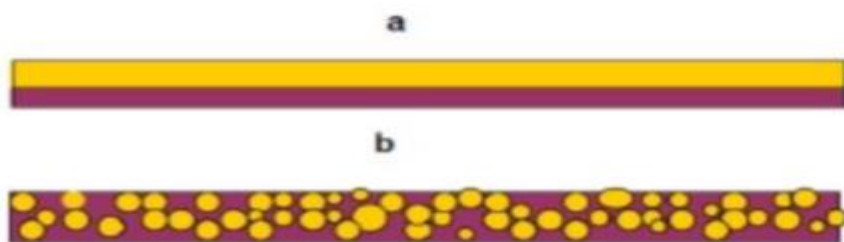


Figura 2. Recubrimiento o película en bicapa (a) y emulsificada (b)

Fuente: Embuscado y Huber 2009

2.3.5. Mecanismos de formación de película comestible y recubrimiento comestible

La formación de una película o recubrimiento involucra uno de los siguientes procesos (Aguilar 2005):

- La coacervación simple, en la que se consigue la formación de la película a partir de cambios de fase o precipitación de un hidrocoloide en disolución acuosa mediante modificación de algunas propiedades del solvente (pH y cargas eléctricas).
- La coacervación compleja, en la que dos soluciones de hidrocoloides con cargas opuestas se combinan, provocando la interacción y la precipitación de la mezcla de polímeros.
- La gelificación o coagulación térmica, mediante la cual el calentamiento de la macromolécula implica su desnaturalización seguida de gelificación o precipitación, o incluso el enfriamiento de una dispersión de hidrocoloides que provoca una transición gel-sol, por ejemplo la gelatina o el agar.
- La eliminación del disolvente, en el que la formación de la película sólida se lleva a cabo gracias a la evaporación del solvente en el que se aplica.
- Para obtener una película con propiedades mecánicas adecuadas es necesario ajustar correctamente la temperatura y velocidad del secado.
- La fusión y solidificación, empleada en películas de naturaleza de lípidos consiste en el calentamiento de la sustancia empleada por encima de su punto de fusión y su posterior enfriamiento.

2.3.6. Métodos de aplicación de película comestible y recubrimiento comestible

2.3.6.1. Aplicación por inmersión

En el caso de frutas y verduras, la inmersión se realiza en tanques que contienen las formulaciones formadoras de cubiertas. Posterior a esto se procede a un escurrido y secado, dejando que una película delgada sea formada sobre la superficie del producto (Pérez y Báez 2003).

2.3.6.2. Aplicación por aspersion

La aplicación de cubiertas por aspersion es el método convencional usado generalmente en muchos de los casos. Debido a la alta presión, un menor gasto de solución formadora de película es requerido para obtener recubrimientos uniformes (García 2009).

2.3.6.3. Aplicación por frotación

El método de frotación se utiliza aire comprimido (menor de 5 psi o 35 kPa), este es aplicado generalmente en líneas de empaque que poseen rodillos en movimiento para lograr una dispersión uniforme (Tharanathan 2003). El exceso de cubierta es removido con cepillos colocados por debajo de los rodillos. La cubierta es pumosa contiene un poco de agua para facilitar el proceso de secado (Pérez y Báez 2003).

2.3.7. Factores que afectan la calidad del producto

Según Muños (2011), los factores que afectan la calidad del producto son:

- Composición del recubriendo
- Tipos de lípido, proteínas o polisacáridos contenidos en el lípido.
- Tipos de componentes minoritarios, (plastificante, emulsionantes).
- Contenidos en sólidos, viscosidad de las formulaciones.
- Adhesión del recubrimiento a la superficie del producto
- Tipos de fruta/hortaliza.

- Condiciones de almacenamiento y transporte.
- Temperatura y humedad relativa, tiempo de almacenamiento y transporte.
- Uso de atmósferas modificadas.

2.3.8. Principales propiedades de película comestible y recubrimiento comestible

2.3.8.1. Propiedades de barrera

Para muchas aplicaciones, la característica funcional más importante de los RC es la resistencia a la migración de humedad. La deshidratación superficial constituye uno de los principales problemas en el mantenimiento de la calidad de los productos hortofrutícolas (Rojas-Graü 2006).

La naturaleza del RC empleado desempeña aquí un papel muy importante: a mayor hidrofiliidad de los materiales utilizados, mayor permeabilidad al vapor de agua (Martín-Belloso *et al.* 2005).

2.3.8.2. Propiedades mecánicas

Según Olivas y Barbosa-Cánovas (2005). Cuando el material empleado para recubrir se coloca en la superficie de las frutas, se desarrollan dos fuerzas: cohesión de las moléculas dentro de la cobertura y adhesión entre el recubrimiento y la fruta. El grado de cohesión de los RC gobierna las propiedades de barrera y mecánicas de las coberturas. Una alta capacidad de adhesión asegura una durabilidad larga del recubrimiento en la superficie de la fruta.

2.3.8.3. Propiedades físicas

Las propiedades físicas más importantes para los recubrimientos comestibles Se encuentran: color, opacidad aparente, transparencia, solubilidad, permeabilidad al vapor de agua y a los gases (oxígeno, monóxido de carbono, etileno), y aquellas relacionadas con la resistencia mecánica (Roblejo 2009).

2.3.8.4. Propiedades ópticas

En el aspecto sensorial, y en sentido amplio, se pueden considerar como propiedades ópticas todas aquellas que se perciben con el sentido de la vista. A las ya enunciadas pueden añadirse la forma, el tamaño y las características de superficie rugosidad, manchas y defectos (Roblejo 2009).

2.3.8.5. Propiedades de solubilidad

La solubilidad es una medida de la integridad de los recubrimientos en un medio acuoso. Generalmente, mayor solubilidad indica menor resistencia al agua. Esta propiedad afecta la futura aplicación de los recubrimientos (Roblejo 2009).

2.3.8.6. Propiedades de espesor

McHugh *et al.* (1993), Consideran que a medida que el espesor de los recubrimientos aumenta, se incrementa la resistencia a la transferencia de masa a través de ella, en consecuencia, la presión parcial de vapor del agua de equilibrio en la superficie inferior de la cubierta se incrementa.

2.3.8.7. Transporte de aditivos

Un uso potencial de los RC en fruta lo constituye la retención y el transporte de aditivos, tales como antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes de la textura, colorantes, saborizantes, compuestos bioactivos o funcionales, entre otros, que podrían conferir un beneficio añadido al recubrimiento. Por ejemplo, el enriquecimiento de los RC con aditivos funcionales permite mejorar aspectos de calidad, tanto nutricionales como estéticos, sin destruir la integridad del alimento (Rojas-Graü 2006).

La incorporación de agentes antimicrobianos dentro de RC constituye una técnica innovadora en el mantenimiento de la seguridad inocuidad y vida útil de alimentos mínimamente procesados, además, pueden emplearse para transportar ingredientes

activos, pudiendo ser excelentes vehículos para mejorar el valor nutricional de los alimentos (Rojas-Graü 2006).

2.3.8.8. Permeabilidad

Los plastificantes y otros aditivos reducen la fuerza de cohesiva entre las cadenas del polímero, causando una movilidad de la cadena y, por lo tanto, un incremento en la permeabilidad debido a la interposición del plastificante con las cadenas del polímero. La presencia de insaturaciones, en el polímero, favorece la rotación de las cadenas y aumenta la difusividad, sin embargo, la introducción de grupos metil reduce la flexibilidad de la cadena, reduciendo la difusión (Guzmán 2003).

2.4. QUITINA Y QUITOSANO

2.4.1. Quitina

Es uno de los principales biopolímeros, el segundo más abundante después de la celulosa y aislado por primera vez en 1811 por Frenchman Braconnot (Rinaudo 2006). Este polisacárido compuesto por unidades de 2-acetamida-2-deoxi- β -D-glucopiranosas unidas a través de enlaces β (1 \rightarrow 4) fue encontrado en 1823 por Antoine Odier en la cutícula de algunos insectos (Rinaudo 2006). Es insoluble en agua y solventes orgánicos debido a los enlaces de hidrógenos presentes en la molécula (Arredondo y Londoño 2009), se encuentra presente en los exoesqueletos de artrópodos y formando parte de la pared celular de algunas familias de hongos y levaduras así como en las alas y cutículas de algunas especies de insectos (Rinaudo 2006).

2.4.2. Quitosano

Es el principal derivado de la quitina conformado por unidades de β -(1 \rightarrow 4)-2-desoxi-2-amino-D-glucopiranosas (D-glucosamina) y β -(1 \rightarrow 4)-2-desoxi-2-acetamido-D-glucopiranosas (N-acetil-D-glucosamina) (Pillai *et al.* 2009), presenta una configuración helicoidal tridimensional estabilizada mediante enlaces de hidrógeno entre los

monómeros que lo forman (Andrade *et al.* 2003). El descubrimiento del quitosano se le atribuye a Rouget en 1859, quien encontró que calentando la quitina en medio alcalino se volvía soluble en ácidos orgánicos. En 1894 HoopeSeyler llama a este material quitosano y solo hasta 1950 se logra dilucidar su estructura química (Khor y Tech 2001).

2.4.3. Diferencias en la estructura química del quitosano y la quitina

Tanto la quitina como el quitosano están formados por cadenas lineales de monómeros de glucopiranosas unidos por enlaces β -(1-4). La diferencia entre la estructura química del quitosano, poli [β -(1-4)-2-amino-2-desoxi-D-glucopiranososa] y la de la quitina, poli [β -(1-4)-2-acetamida-2-desoxi- D- glucopiranososa], radica en el carbono número 2, en donde la quitina posee un grupo acetoamida, mientras que en el quitosano ese grupo es desacetilado resultando en un grupo amino (Pastor e Higuera 2004). La Figura 3, muestra la estructura química de la quitina, la sustancia orgánica más abundante en la naturaleza después de la celulosa, es un biopolímero lineal de alto peso molecular constituida por unidades de N-acetil-D-glucosamina unidas por enlaces β -D (1,4); mientras la figura 4, muestra la estructura química del quitosano que es la forma N-desacetilada de la quitina, es una modificación de la quitina y posee mejores propiedades de reactividad y solubilidad.

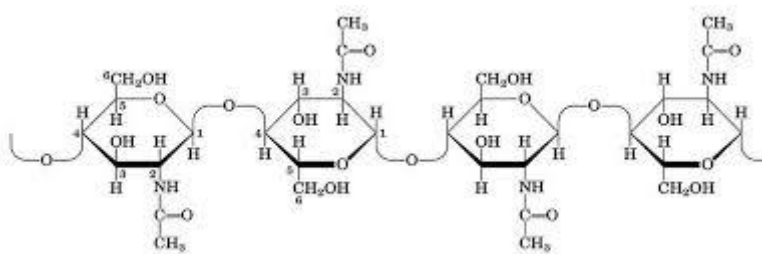


Figura 3. Estructura química de la quitina

Fuente: Lárez 2003

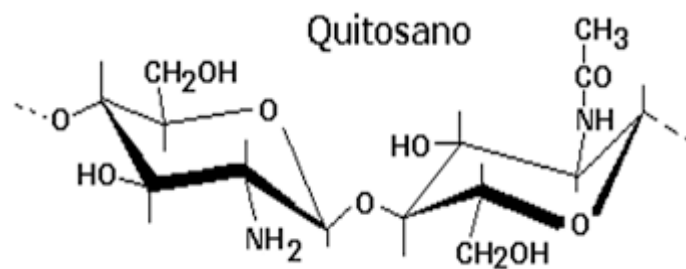


Figura 4. Estructura química del quitosano

Fuente: Lárez 2003

2.4.4. Desacetilación de la quitina

La desacetilación de la quitina se lleva a cabo mediante un método termoquímico, y naturalmente, se produce sólo en ciertos hongos (Mucoraceae) (Dash *et al.* 2011). La quitina se trata con solución alcalina concentrada (40% a 45% de hidróxido de sodio) y temperatura de 120°C/ 1-3 horas, sin embargo esta N-desacetilación casi nunca es completa y el quitosano es considerado como un derivado de quitina parcialmente N-desacetilado. Las condiciones usadas para la desacetilación determinan el peso molecular del polímero y el grado de desacetilación (DD) (Dash *et al.* 2011). La consecuencia de lo anterior es una clara distinción entre a quitina y quitosano proporcionada precisamente por el grado de N-desacetilación (Castañeda *et al.* 2011).

La quitina desacetilada en un 70 a 90% es considerado como un buen producto final. El producto debe ser bajo en proteína y cenizas. El quitosano puede disolverse en ácido acético al 1 a 2%, y una viscosidad alta de esta solución es indicativa de un quitosano bien preparado. Si se aplican condiciones muy rigurosas durante la desacetilación, la cadena principal de la quitina se rompe y esto resulta en baja viscosidad del quitosano disuelto en el ácido acético. Además, las moléculas rotas causan decoloración y condensación, resultando en una solubilidad y transparencias reducidas. Una preparación

del quitosano adecuado tiene un contenido de cenizas bajo (<1%) y se disuelve bien en ácido acético dando una transparencia alta (>90% de transmisión) (Kandra *et al.* 2012). La figura 5, muestra la desacetilación de la quitina para la obtención de los productos quitano y quitosano.

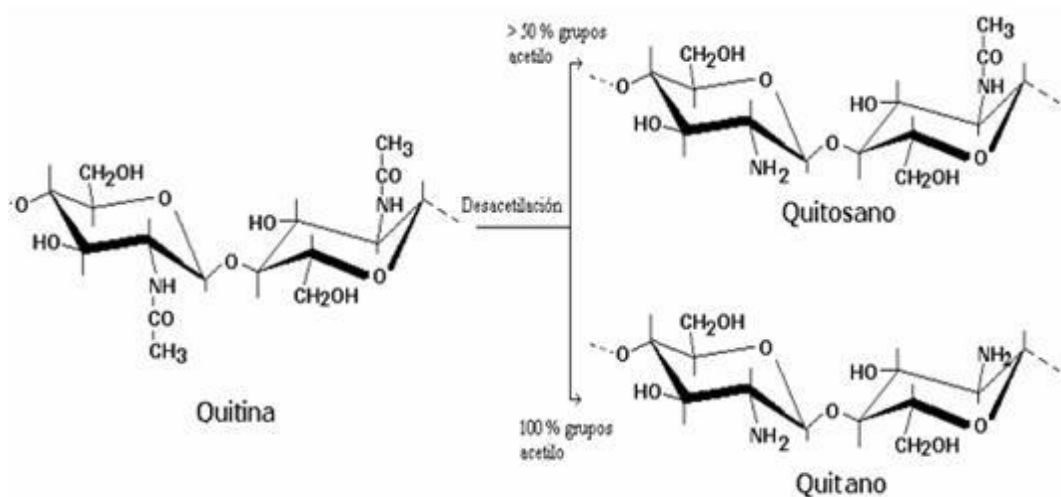


Figura 5. Desacetilación de la quitina

2.4.5. Fuentes de quitina

Las fuentes tradicionales de la quitina son los residuos del procesado del camarón, cangrejo y langosta (Khanafari *et al.* 2008). Se ha estimado que la producción de quitina a partir de los caparzones de los crustáceos es de aproximadamente 1.2 x 10⁹kg (Kardas *et al.* 2012). En particular, el residuo de camarón es considerado una buena fuente de quitina (Brzezinska *et al.* 2008). Está presente en cantidades variables, desde traza hasta aproximadamente el 40% del peso corporal del organismo, es un polisacárido blanco, duro y poco elástico, tiene baja solubilidad, inmunogenicidad y reactividad química, al igual que la celulosa (Cahu *et al.* 2012).

Su aplicación está limitada principalmente debido a la variación en su composición química, grado de desacetilación, tamaño de cadena polimérica y purificación (Hernández

et al. 2008). A partir de la quitina se han preparado varios derivados, que exhiben propiedades fisicoquímicas, biológicas y mecánicas interesantes con un gran potencial de aplicaciones, por lo que han sido usados virtualmente en cada segmento significativo de la economía tales como el tratamiento de aguas residuales, industria papelera, dispositivos biomédicos y terapias, sistemas de suministro de fármacos, ingeniería textil, bionanotecnología, biotecnología, agricultura, ciencia y tecnología de alimentos, ciencia de los materiales, microbiología, cosmética y tecnología de membrana (Hernández *et al.* 2008).

2.4.6. Propiedades fisicoquímicas del quitosano

Las principales propiedades fisicoquímicas del quitosano son la solubilidad, peso molecular, viscosidad y grado de desacetilación, todas ellas estrechamente relacionadas (Meyers *et al.* 2002).

2.4.6.1. Peso molecular

El peso molecular afecta la actividad que presente el quitosano como espesante, regulador de la viscosidad, antifúngico, agente ligante de color, grasa y agua, vehículo de liberación, entre otras aplicaciones (Meyers *et al.* 2002).

2.4.6.2. Grado de desacetilación

El grado de desacetilación, el cual consiste en el porcentaje de grupos amino libres en el quitosano, es la característica que permite la solubilidad de la molécula, su bioactividad así como en el desempeño de muchas aplicaciones del polímero. De hecho, el quitosano se define como la quitina que ha sido desacetilada en un 60 - 75% o más, punto en el cual se vuelve soluble en ácidos orgánicos (Khan *et al.* 2002).

2.4.6.3. Viscosidad

El quitosano forma soluciones viscosas en varios ácidos orgánicos. La viscosidad de la solución obtenida depende del peso molecular, grado de desacetilación, concentración,

temperatura, pH, la fuerza iónica y el solvente ácido utilizado. La determinación de la viscosidad permite una aproximación al peso molecular del quitosano puesto que la viscosidad puede relacionarse con el peso molecular (Park 2002).

2.4.6.4. Solubilidad

El quitosano es insoluble en agua pura y en solventes orgánicos, pero es soluble en soluciones acuosas diluidas de ácidos orgánicos y minerales a condiciones específicas ((Park *et al.* 2002). Esta disolución, a diferencia de la quitina, es posible por la protonación de los grupos amino libres a lo largo de la cadena del polímero, generando así la correspondiente sal de quitosano en solución (Argüelles *et al.* 2004). Por lo tanto las cargas positivas presentes a lo largo de la molécula, determinan en gran medida el comportamiento del quitosano en solución. Sin embargo no es únicamente el grado de desacetilación lo que influye en la solubilidad, sino la distribución de los grupos amino en conjunto con el peso molecular (Rinaudo 2006).

El grado de solubilidad del quitosano no solo varía en función del grado de desacetilación, y del peso molecular, sino también de otros factores como son el tipo de solvente, la temperatura, el pH, el P_k y la fuerza iónica del ácido donde se disuelva así como de la concentración iónica (Rinaudo 2006).

2.4.7. Propiedades biológicas del quitosano y sus películas

2.4.7.1. Actividad antiviral

Los principales factores que hacen que el quitosano impidan las infecciones por fagos son la desactivación y la inhibición particular de la producción de bacteriófagos a nivel celular. Se ha sugerido que la actividad antiviral se puede dar por varios mecanismos; uno es la disminución de la viabilidad de las células bacterianas, ya que los fagos necesitan de células viables para su propagación. Otro mecanismo consiste en la neutralización del

grado de infección de los fagos maduros y el bloqueo de la replicación de los fagos virulentos (Chirkov 2002).

El quitosano puede ser usado para la inducción de fago-resistencia en cultivos industriales de microorganismos y prevenir así la fago-lisis indeseable, causada por contaminación del inoculo por bacteriófagos virulentos (Rabea *et al.* 2003).

Se ha demostrado que también puede inhibir la infección viral en diferentes tipos de plantas, independientemente del tipo de virus que provoque la infección (Chirkov 2002).

En el caso de la actividad antiviral en plantas, el quitosano demostró dependencia de la concentración empleada, siendo mayor el efecto a mayor concentración del biopolímero.

El peso molecular es también otro de los factores que influyen en la propiedad antiviral, siendo esta mayor a más alto peso molecular (Chirkov 2002).

2.4.7.2. Actividad repelente e insecticida

Otra de las propiedades importantes del quitosano es su capacidad de repeler insectos.

Aunque la principal aplicación del quitosano en la agricultura consiste en mejorar los rendimientos agronómicos, ya sea por mejorando la germinación de las semillas recubiertas con el polímero o bien, mediante la protección de las semillas del ataque de hongos (Pastor e Higuera 2004), este también presenta actividad repelente de insectos.

La actividad insecticida del quitosano se demostró primero con insectos de la clase lepidóptera, con el gusano de la hoja de algodón *Spodoptera littoralis*, *Helicoverpa armígera*, y *Myzus persicae*, entre otros (Zhang *et al.* 2003).

Los oligómeros de quitosano probados sobre dichos organismos mostraron una menor actividad insecticida que el propio polímero, sin embargo, para el caso de larvas de *Spodoptera littoralis*, el quitosano muestra menor actividad insecticida que sus derivados modificados químicamente: el N-alquil quitosano y el N-bencil quitosano. Estos

derivados poseen además actividad fungicida contra *Botrytis cinérea* y *Pyricularia grisea* (Rabea *et al.* 2005).

2.4.7.3. Actividad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana del quitosano está influenciada por varios factores como son el tipo de quitosano, su grado de polimerización, e peso molecular, la viscosidad, el grado de desacetilación, la composición química y nutritiva del sustrato, y las condiciones ambientales, entre otros (Rabea *et al.* 2003). La acción antimicrobiana puede proceder de diferentes maneras, hasta el momento son tres las teorías sobre los mecanismos de acción antimicrobiana las cuales dependen del peso molecular del mismo. El primer mecanismo planteado menciona que las cargas positivas presentes en la cadena polimérica del quitosano, debidas al grupo amino en la misma, interactúan con las cargas negativas de los residuos de macromoléculas como lipopolisacáridos y proteínas, en las membranas de las células microbianas, interfiriendo con el intercambio de nutrientes en el exterior y el interior de la célula afectando así el metabolismo de la misma. También es posible que compita con el calcio por los sitios electronegativos de la membrana, comprometiendo su integridad y ocasionando la salida del material intracelular y causando la muerte de la misma (Moller *et al.* 2004; Rodriguez *et al.* 2005).

2.4.8. Aplicaciones del quitosano en la industria alimentaria

Una de las industrias con mayores posibilidades de aplicación del quitosano es la alimenticia, donde se puede aplicar para diferentes objetivos mostrándose en la tabla 2.

Tabla 2. Aplicaciones del quitosano en la industria de los alimentos

| Aplicación | Efecto |
|-----------------------------------|---|
| Aditivo | Clarificación y desacidificación de bebidas de frutas. |
| | Prolongar sabor. |
| | Control de textura. |
| | Agente emulsificante. |
| | Agente espesante y estabilizante. |
| | Estabilizador de color. |
| | Antioxidante. |
| Calidad nutricional | Gelificante |
| | Fibra dietaria |
| | Efecto Hipocolesterolémico |
| | Reducir absorción de grasa |
| | Agente anti-gastritis |
| Agente conservador | Formulaciones para alimento bebés |
| | Antibacterial |
| Películas y Cubiertas comestibles | Antifúngico/Fungistático |
| | Reducción en producción de etileno y dióxido de carbono |
| | Control de transferencia de humedad |
| | Control de oxidación enzimática en frutas |
| | Barrera protectora contra el medio |
| | Liberación controlada de antimicrobianos, antioxidantes, nutrientes y otros |
| | Protección antimicrobiana |
| Aumento de la vida de anaquel | |

Fuente: Agulló *et al.*, 2004; Rinaudo, 2006.

Los materiales que se han utilizado para empaque de alimentos, como las películas de polietileno, tienen la desventaja de aumentar la condensación de agua que favorece el

crecimiento de hongos, ser fermentables debido a la reducción del oxígeno, no ser biodegradables y no controlar el desarrollo microbiano (Shahidi *et al.* 1999).

El uso de películas de quitosano puede extender la vida de anaquel de aquellos productos en los que se empleen debido a su acción antimicrobiana, a la reducción de producción etileno y dióxido de carbono relacionados con el deterioro de los vegetales, y a la permeabilidad al agua que impide su acumulación y el aumento del crecimiento de hongos (Shahidi *et al.* 1999).

Los estudios en ese sentido se han concentrado en su aplicación en frutas y vegetales, y solo algunos se han realizado sobre productos de origen animal como pescado Huevo y carne (Jeon *et al.* 2002; Bhale *et al.* 2003).

Los usos de películas de únicamente quitosano y/o quitosano no modificado químicamente son limitados debido a su alta permeabilidad al agua y a su fragilidad. Sin embargo las películas de quitosano pueden ser modificadas empleando diferentes compuestos con el fin de mejorar las propiedades mecánicas permeables de las mismas (Park *et al.* 2002).

2.4.9. Biopelículas de quitosano

Las soluciones viscosas de quitosano pueden emplearse para la elaboración de películas al dejar evaporar el solvente (Park *et al.* 2002).

Las películas de quitosano son biodegradables, biocompatibles, delgadas, flexibles, duraderas, fuertes, resistentes y difíciles de romper, tienen valores moderados de permeabilidad al agua y son buena barrera para la permeabilidad del oxígeno, disminuyen la velocidad de respiración de los alimentos en donde se prueban, retrasan el proceso de maduración de los vegetales debido a la reducción de etileno y dióxido de carbono, y además inhiben el desarrollo de microorganismos (Agulló *et al.* 2003). Pueden ayudar a

conservar y controlar las características morfológicas, fisiológicas y fisicoquímicas de los alimentos en los cuales se utilizan (Shahidi *et al.* 1999).

La mayoría de las propiedades mecánicas de las películas de quitosano son comparables con las de varios polímeros comerciales de mediana fuerza, como los celulósicos (Jeon *et al.* 2002). Las propiedades mecánicas y permeables de las películas de quitosano pueden ser controladas eligiendo el peso molecular y el sistema de solvente más adecuado, aun y cuando no se hayan utilizado compuestos plastificantes para su elaboración (Park *et al.* 2002).

En la cavidad oral, las películas de quitosano nativo son degradadas por enzimas como lisozimas y amilasas, y mucho más rápidamente que las películas elaboradas con quitosano entrecruzado (Etienne *et al.* 2005).

2.5. YACÓN

Según Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, su ubicación taxonómica es:

Reino : Vegetal

División : Magnoliophyta

Clase : Magnoliopsida

Orden : Asterales

Familia : Asteraceae

Género : *Smallanthus*

Especie : *Sonchifollus*.

Nombre científico: *Smallanthus Sonchifollus*.

2.5.1. Composición química de las raíces de yacon

Entre el 85 al 90% del peso fresco de las raíces, se encuentra en forma de agua. A diferencia de tubérculos comestibles los mismos que presentan un alto contenido de almidón, el yacon almacena sus carbohidratos en forma de fructooligosacaridos (FOS) y azúcares comunes este tubérculo es agua. Los carbohidratos representan el 90% del peso seco de las raíces recién cosechadas, de los cuales entre el 50 al 70% son Fructooligosacáridos (FOS) y azúcares comunes (fructuosa, glucosa y sacarosa), y no en forma de almidón. La composición química de la raíz del yacon, se presenta en la tabla 3 (Villacres *et al.* 2007 y Manrique *et al.* 2003).

Tabla 3. Composición química de las raíces de yacon

| Parámetro | Porcentaje en base seca |
|-----------|-------------------------|
| FOS | 40 – 70 |
| Fructuosa | 5 – 15 |
| Sacarosa | 5 – 15 |
| Glucosa | 3 – 5 |
| Proteínas | 2.42 – 4.30 |
| Lípidos | 0.14 – 0.43 |
| Minerales | 2.50 – 3. 73 |
| Fibra | 1.53 – 2.64 |

Fuente: Villacres *et al.* 2007

Es un buen rehidratante debido a su alto contenido de agua y minerales como el potasio y promueve la generación de la flora intestinal, por lo que es considerado como un probiótico. Como todos los frútanos los FOS no pueden ser metabolizados directamente por el tracto digestivo humano, debido a que este carece de las enzimas digestivas necesarias. Por eso cuando una persona ingiere FOS, estos se desplazan por todo el tracto digestivo sin ser modificados, y solo cuando los FOS llegan al colon, son fermentados por un grupo de bacterias especializadas que forman parte de la microflora intestinal, llamadas probióticas, que comparten el mismo hábitat imposibilitando el crecimiento de

bacterias perjudiciales del colon. Estas bacterias probióticas aumentan su población, ayudando a la absorción de calcio y otros minerales, ayudan a sintetizar vitaminas del complejo B, a fortalecer el sistema inmunológico, a prevenir infecciones gastrointestinales, y reducen el riesgo de desarrollar algunos tipos de cáncer, especialmente el de colon (Seminario 2003).

Debido a que el contenido calórico del yacon es mucho menor que la mayoría de alimentos, su consumo podría estar recomendado para personas que practican un régimen alimenticio bajo en calorías. En este grupo se encuentran la mayoría de personas con diabetes. Sin embargo, no existen aún estudios clínicos que avalen este conocimiento. A pesar de ello en la actualidad la mayoría de personas con diabetes que consumen yacon reconocen que les ayuda a manejar mejor la enfermedad. (Seminario y Valderrama 2002).

No se han realizado estudios científicos sobre las propiedades del yacon. Todo lo que se habla es acerca sus propiedades es por estudios hechos con los FOS purificados de fuentes diferentes al yacon como: Achicoria, Dalia, Jerusalen artichokes, etc. (Seminario y Valderrama 2002).

2.5.2. Poscosecha de raíces de yacón y contenido de FOS

Se considera que la concentración de los FOS en las raíces aumenta conforme la planta madura y probablemente alcanza su máximo valor en estado senescente. Por el contrario, después de la cosecha la concentración de los FOS sigue un curso contrario. Se ha determinado que luego de la cosecha, se inicia un proceso de conversión de los FOS en azúcares simples. Graefe *et al.* (2002) indican que el almacenamiento a temperatura ambiente, durante una semana, puede producir una disminución de 30 a 40 % de FOS. Por lo tanto, la práctica tradicional en los Andes de hacer el soleado de las raíces, por unos días, antes de consumirlas si bien, produce un mayor endulzamiento, es contraproducente para los niveles de FOS. El soleado produce una mayor conversión de

los FOS a azúcares simples y con ello la pérdida de sus propiedades benéficas para la salud. En consecuencia, se recomienda procesar las raíces cuanto antes, para aprovechar mejor sus beneficios (Manrique et al. 2004).

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que si bien la concentración de FOS disminuye debido al soleado, por otro lado, aumentan debido a la deshidratación, entonces se produce una compensación que al parecer, favorece a los FOS. Debido a esta situación Graefe (2002), encontró que la concentración de FOS en raíces soleadas es igual o ligeramente superior que en las raíces frescas.

Por otro lado, ciertos estudios han demostrado que la conversión de los FOS (en azúcares simples) en raíces almacenadas a temperaturas de refrigeración (5 °C) es menor que a 25 °C. Pero, de todas formas, existe una tasa de conversión que no puede ser controlada (Asami et al. 1991).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación se realizó en el Laboratorio de “Fermentaciones Industriales” de la Universidad Nacional de Cajamarca, del distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca.

3.2 MATERIALES

3.2.1 Material y equipo de laboratorio

3.2.1.1. Insumos:

- Yacón
- Quitosano en escamas (86.5% de desacetilación)
- Glicerina.
- Agua destilada estéril.
- Cloruro de calcio.
- Cloruro de sodio.
- Ácido ascórbico.
- Ácido acético glacial.

3.2.1.2. Equipos:

- Balanza analítica.
- Cocina eléctrica.
- Brixometro.
- Termómetro.
- Pipetas.
- Matraces.
- Vasos de precipitación.
- Refrigeradora.
- Caja de madera.
- Papel probabilístico weibull.

3.2.1.3. Otros:

- Hipoclorito de Sodio.
- Envases de poliestireno.
- Alcohol.
- Film de PVC (cloruro de polivinilo).
- Guantes.
- Mascarillas

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Optimización el recubrimiento comestible a base de quitosano.

3.3.1.1. Preparación y aplicación del recubrimiento comestible a base de quitosano.

Para la optimización del recubrimiento comestible a base de quitosano, se prepararon 3 soluciones de recubrimiento a concentración de 0.5% p/v, 1.75% p/v y 3% p/v de quitosano. Los días 1, 4 y 7 se midieron los °Brix y el pardeamiento (mediante las coordenadas de color CIEL*a*b*) del yacón mínimamente procesado sumergidos en las 3 soluciones de recubrimiento comestible a base de quitosano. La solución de recubrimiento comestible que mantenga mejor el color y ° Brix será la elegida. En la figura 6 se muestra el flujograma experimental de yacón mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano.

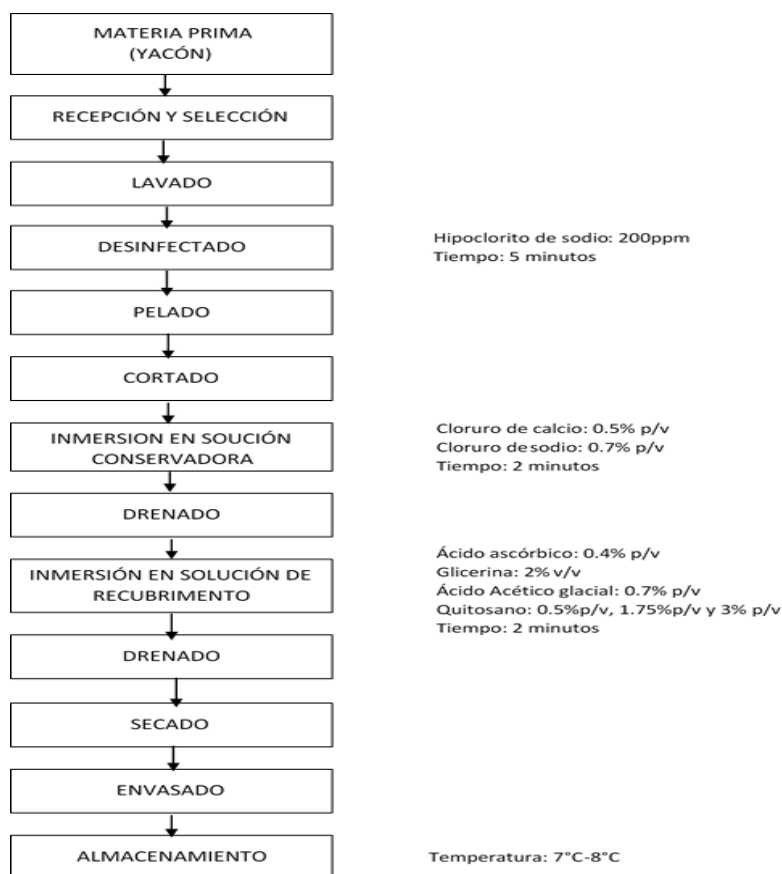


Figura 6. Flujograma de procesamiento de yacón mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano

Materia prima:

El yacon (*Smallanthus sonchifollus*) fue procedente del Centro Poblado de Cumbico del Distrito de la Magdalena y se obtuvo del mercado San Sebastian de Cajamarca. Se utilizó el morfotipo III llamado Hualqui (piel naranja-amarilla), mostrándose en el anexo 03 y se procesó después de 15 horas de haberse realizado la cosecha.

Recepción:

Se recepcionó 11 Kg de yacon, se seleccionaron yacones de tamaño uniforme.

Lavado:

Se realizó el lavado con agua potable, con la finalidad de eliminar la tierra adherida a la superficie del yacón.

Desinfectado:

Se realizó el desinfectado con una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 200 ppm, durante 5 minutos, con la finalidad de eliminar cualquier tipo de microorganismos presentes en la superficie del yacón. Luego se enjuagó con agua potable.

Pelado:

El pelado se realizó de forma manual con un cuchillo.

Cortado:

El cortado se realizó en rodajas de tamaño uniforme.

Inmersión en solución conservadora:

La solución conservadora está compuesta de cloruro de calcio a una concentración de 0.5% p/v (ayuda a mantener la estructura de la pulpa del yacón firme) y cloruro de sodio a una concentración de 0.7% p/v (antimicrobiano). Se sumergieron las rodajas de yacón durante 2 minutos.

Drenado:

Sé realizó mediante un colador, con la finalidad de eliminar el agua.

Inmersión en solución de recubrimiento:

El quitosano en escamas, se obtuvo de la “Planta Piloto de Quitosano” de la Pontificia Universidad Católica del Perú, con un grado de desacetilación de 86.5%, peso molecular de 900 KDa (900 000 Daltons); el cual fue extraído de la cascara (caparazón) de langostino.

Se prepararon 3 soluciones de recubrimiento comestible, a concentraciones de 0.5% p/v, 1.75% p/v y 3% p/v de quitosano. El quitosano se disolvió con ácido acético glacial al 0.7% v/v, en agitación constante hasta que se disuelva por completo. Se agregaron como coadyuvantes de formación de recubrimiento comestible glicerina al 2% v/v como plastificante y ácido ascórbico al 0.4% p/v como antioxidante. En los anexos 04, 05 y 06; muestran las imágenes de las soluciones de recubrimiento comestible, preparado al 0.5% p/v, 1.75% p/v, 3% p/v. de quitosano, con 2% v/v de glicerina y 0.4% p/v de ácido ascórbico. Luego se sumergieron las rodajas de yacón en las tres soluciones formadoras de recubrimiento comestible durante 2 minutos.

Drenado:

Se sacaron con una espátula las rodajas de yacón de la solución del recubrimiento comestible, para ser drenados en un colador con la finalidad de disminuir el agua y evitar pérdidas de solución de recubrimiento.

Secado:

Las rodajas de yacón fueron secadas durante 30 minutos a 14 °C con una secadora de aire frío, tiempo en el cual se pudo determinar de manera visual la evaporación del agua del recubrimiento comestible.

Envasado:

El yacón mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano, fueon envasados en envases de poliestireno cubierto con un film PVC para alimentos (cloruro de polivinilo); el cual se muestra en el anexo 09.

Almacenamiento:

Finalmente, las muestras de yacón fueron almacenadas a una temperatura de 7 a 8°C.

3.3.1.2. Medición de °Brix (sólidos solubles) y coordenadas de color CIEL*a*b***Medición de °Brix:**

Los °Brix de las muestras de yacon mínimamente procesadas con recubrimiento comestible se midieron con un refractómetro.

Adquisición de coordenadas de color CIEL*a*b* mediante imágenes digitales

Las coordenadas de color CIEL*a*b* como se muestra a continuación, L*indica la luminosidad y a* y b* son las coordenadas cromáticas:

L*=luminosidad

a*= coordenadas rojo/verde (+a indica rojo, -a indica verde)

b* = coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo, -b indica azul)

Para la adquisición de imágenes digitales se desarrolló un sistema de visión computarizada según León *et al.* (2006). Se tomaron fotos con una cámara para computadora de escritorio (sin flash) a las muestras de yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible previamente colocadas en una caja de madera pintada de color negro la parte interna e iluminada con 2 focos de luz blanca en los extremos.

Para la obtención de las coordenadas de color L*a*b* a partir de las imágenes se utilizó el software Matlab.

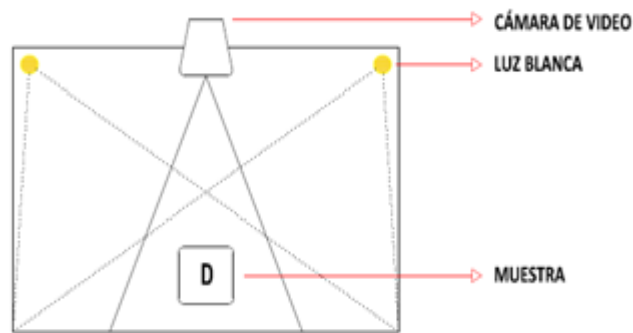


Figura 7. Implementación de sistema para adquirir imágenes digitales

Luego fueron evaluados los parámetros de calidad como °Brix y pardeamiento (mediante las coordenadas de color CIAL*a*b*) los días 1, 4 y 7 con la finalidad de determinar cuál de las soluciones de recubrimiento comestible influyen de manera significativa ya sea positivo o negativo sobre las muestras del yacón mínimamente procesadas, mostrándose en la tabla 4.

3.3.1.3. Tratamiento estadístico

Se utilizó la metodología de la superficie de respuesta. Los tratamientos realizados fueron 3, con 2 variables independientes que es concentración del quitosano y tiempo con las variables dependientes °Brix y pardeamiento (mediante las coordenadas de color CIAL*a*b*). El software que se utilizó fue el Statgraphic Plus.

3.3.2 Determinación de vida útil del yacón mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano

3.3.2.1. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se llevó a cabo con 10 panelistas de ambos sexos, alumnos de la Universidad Nacional de Cajamarca. Durante la evaluación sensorial, los panelistas recibieron las muestras de yacón mínimamente procesado desde el día 0 hasta el sexto día, tiempo en el cual el 90% (color) y 60% (sabor) de los consumidores rechazaron el producto; siendo citados a la misma hora (9 am). Se evaluaron dos atributos de calidad

sensorial del yacon mínimamente procesado, siendo el color y sabor, mediante una escala de 9 puntos, con el criterio de censura (falla) “Me es indiferente” escala 5, como se muestra en el Anexo 01.

3.3.2.2. Tratamiento estadístico

Para la determinación del Tiempo de vida útil se utilizó el Método Gráfico de Ploteo de Riesgos Acumulados de Weibull siguiendo la metodología propuesta por Gacula y Kubala, citado por De la Cruz (2009), que se detalla:

- 1) Se realizó la evaluación sensorial:

Los panelistas recibieron la encuesta que se muestra en el anexo 01. Los resultados de la encuesta se encuentran en la tabla 13 y 14 para los atributos de color y sabor, donde se indica con la palabra NO (rechazaron el producto) y con la palabra SI (aceptaron el producto).

- 2) Se ordenaron los periodos (en días) en orden ascendente de fallas detectadas.
- 3) Construcción de la curva de riesgo: Se determinó el valor del Riesgo, $h(t)$ para cada muestra fallada con la siguiente relación:

$$h(t) = 100/k \dots \dots \dots (1)$$

Donde k es la inversa del ranking de los periodos de falla de las muestras.

Luego se calculó el valor del Riesgo acumulado, $H(t)$ de las muestras que fallaron.

El valor de riesgo acumulado correspondiente a la unidad fallada, es la sumatoria de todos los valores de riesgo de las unidades que fallaron anteriormente incluyendo la unidad fallada.

- 4) Se realizó el ploteo de los datos para la construcción del gráfico:

$$H(t) = (t/\alpha)^\beta \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{Log}(t) = 1/\beta \log(H) + \log(\alpha) \dots\dots\dots (3)$$

El parámetro de forma puede ser calculado como:

$$\beta = (1/\sigma)(\pi/6^{1/2}) \dots\dots\dots (4)$$

Con σ como la desviación estándar del logaritmo natural de las muestras en que los jueces "detectaron diferencias" o puede ser calculado gráficamente del papel de probabilidad de riesgos acumulados de Weibull (Taoukis *et al.*, 1998).

- 5) Se realizó la regresión lineal de los datos plotados.
- 6) El cálculo del tiempo final de vida útil, se realizó tomando el criterio del percentil del 50% de falla, a la cual se le conoce como "Tiempo de vida útil Nominal" (Cardelli y Labuza, 2000). Para lo cual se trazó una línea perpendicular del origen del 50% de percentil hacia la curva de regresión, y a partir de dicho intercepto se trazó una línea paralela al eje de las sumatorias de fallas hasta el intercepto del eje del tiempo (tiempo de vida útil).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PARDEAMIENTO Y °BRIX DEL YACÓN MÍNIMAMENTE PROCESADO

En la tabla 4, se muestra los resultados de las 9 observaciones realizadas con variables independientes tiempo y concentración de quitosano y variables dependientes °Brix (sólidos solubles) y pardeamiento (mediante las coordenadas de color CIEL*a*b*), para determinar las condiciones óptimas para el recubrimiento comestible a base de quitosano.

Tabla 4. °Brix y pardeamiento del yacon mínimamente procesado en los tres diseños realizados

| N° de Ensayo | Condiciones para cada ensayo | | Respuesta | | | |
|--------------|------------------------------|--------------|-----------|--------------|-------|-------|
| | []% Quitosano | Tiempo(días) | °Brix | Pardeamiento | | |
| | | | | L* | a* | b* |
| 1 | 0.5 | 1 | 9 | 66.14 | 10.29 | 22.3 |
| 2 | 1.75 | 1 | 9 | 60.39 | 11.05 | 22.09 |
| 3 | 3 | 1 | 10 | 66.41 | 10.24 | 23.13 |
| 4 | 0.5 | 4 | 10 | 65.6 | 11.76 | 20.57 |
| 5 | 1.75 | 4 | 10 | 63.46 | 12.67 | 20.62 |
| 6 | 3 | 4 | 11 | 63.13 | 12.08 | 19.8 |
| 7 | 0.5 | 7 | 10 | 64.76 | 11.52 | 18.73 |
| 8 | 1.75 | 7 | 11 | 69.84 | 11.01 | 18.71 |
| 9 | 3 | 7 | 11 | 67.64 | 11.14 | 19.6 |

La tabla 4, muestra los °Brix del yacon mínimamente procesado almacenado a temperatura de refrigeración durante 7 días en concentraciones de 0.5% p/v, 1.75% p/v y 3% p/v de quitosano; demostrando que los °Brix no tienen una variación significativa medidos en el primer día, cuarto y séptimo en los tres tratamientos realizados. El comportamiento de variación de °Brix es similar en los tratamientos; por lo que se demuestra que el recubrimiento no tiene influencia significativa en dicha variable. Los

valores de °Brix tienden a aumentar lentamente; puede deberse a que la velocidad de conversión de los fructooligosacaridos a azúcares simples es menor a temperatura de refrigeración según lo mencionan Asami *et al* (1991) que el contenido de FOS en raíces almacenadas a 5°C fue significativamente mayor al de las raíces almacenadas a 25°C.

La tabla 4, nos muestra los resultados de las coordenadas de color CIEL*a* b* del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano en las 9 observaciones realizadas, demostrando que no existe una variación significativa entre cada uno de los tres tratamientos, caso contrario sucede con la coordenada de color b*(+ amarillo, - azul) a medida que pasa el tiempo disminuye los valores de b*; esto se debe a que el yacon mínimamente procesado empieza a pardearse.

4.2. OPTIMIZACIÓN DEL RECUBRIMIENTO COMESTIBLE A BASE DE QUITOSANO

Para la optimización del recubrimiento comestible se utilizó la metodología superficie de respuesta, utilizando el Software Statgraphic Plus.

4.2.1. Análisis para la variable color (CIEL*a*b*)

El análisis de varianza de superficie de respuesta, determina los factores importantes que afectan al color del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano. Se muestran los factores principales como concentración de quitosano (A) y tiempo (B), y; factores de interacción como AA, AB y BB. Tales factores son estadísticamente significativos cuando el valor de $P < 0.05$. También muestra la razón-F, indicando si existe diferencia entre las medidas de color de cada tratamiento.

Tabla 5. Análisis de varianza para la coordenada de color L*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| A: % Quitosano | 0.0770667 | 1 | 0.0770667 | 0.01 | 0.9409 |
| B:Tiempo | 14.415 | 1 | 14.415 | 1.21 | 0.3516 |
| AA | 2.205 | 1 | 2.205 | 0.19 | 0.6960 |
| AB | 1.70302 | 1 | 1.70302 | 0.14 | 0.7305 |
| BB | 6.48 | 1 | 6.48 | 0.54 | 0.5141 |
| Error total | 35.7169 | 3 | 11.9056 | | |
| Total (corr.) | 60.597 | 8 | | | |

En la tabla 5, muestra que los factores principales como la concentración de quitosano (A), tiempo (B) y las interacciones de los factores AA, AB y BB no influyen de manera significativa sobre la coordenada de color L*(luminosidad), porque presentan valores de $P > 0.05$. También no existe diferencia de los valores medidos de la coordenada de color L*(luminosidad) entre los tratamientos realizados, porque presentan valores calculado F menor al valor crítico de F que es 10.13.

Tabla 6. Análisis de varianza para la coordenada de color a*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| A:% Quitosano | 0.00201667 | 1 | 0.00201667 | 0.01 | 0.9276 |
| B:Tiempo | 0.728017 | 1 | 0.728017 | 3.51 | 0.1575 |
| AA | 0.32805 | 1 | 0.32805 | 1.58 | 0.2973 |
| AB | 0.027225 | 1 | 0.027225 | 0.13 | 0.7410 |
| BB | 3.35405 | 1 | 3.35405 | 16.19 | 0.0276 |
| Error total | 0.621442 | 3 | 0.207147 | | |
| Total (corr.) | 5.0608 | 8 | | | |

En la tabla 6, muestra que los factores principales como la concentración de quitosano (A), tiempo (B) y las interacciones de los factores AA y AB no influyen de manera significativa sobre la coordenada de color a* (+a indica rojo, -a indica verde), porque

presentan valores de $P > 0.05$; caso contrario sucede con la interacción BB, presentando un valor de $P < 0.05$. También no existe diferencia de los valores medidos de la coordenada de color a^* (+a indica rojo, -a indica verde) entre los tratamientos realizados, porque presentan valores calculado F menor al valor crítico de F que es 10.13.

Tabla 7. Análisis de varianza para la coordenada de color b^*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|----------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| A: % Quitosano | 0.9126 | 1 | 0.9126 | 1.02 | 0.3866 |
| B:Tiempo | 13.7108 | 1 | 13.7108 | 15.35 | 0.0296 |
| AA | 0.405 | 1 | 0.405 | 0.45 | 0.5490 |
| AB | 0.525625 | 1 | 0.525625 | 0.59 | 0.4989 |
| BB | 0.88445 | 1 | 0.88445 | 0.99 | 0.3931 |
| Error total | 2.68051 | 3 | 0.893503 | | |
| Total (corr.) | 19.119 | 8 | | | |

En la tabla 7, muestra que el factor principal como la concentración de quitosano (A) y las interacciones de los factores AA, AB y BB no influyen de manera significativa sobre la coordenada de color b^* (+b indica amarillo, -b indica azul), porque presentan valores de $P > 0.05$; caso contrario sucede con el factor principal tiempo (B), ya que presenta el valor de $P < 0.05$, por lo que influye de manera significativa sobre la coordenada de color b^* (+b indica amarillo, -b indica azul). También no existe diferencia de los valores medidos de la coordenada de color b^* (+b indica amarillo, -b indica azul) entre los tratamientos realizados, porque presentan valores calculado F menor al valor crítico de F que es 10.13; a diferencia del tiempo, ya que presenta su valor calculado F de 15.35, el cual es mayor que el F crítico.

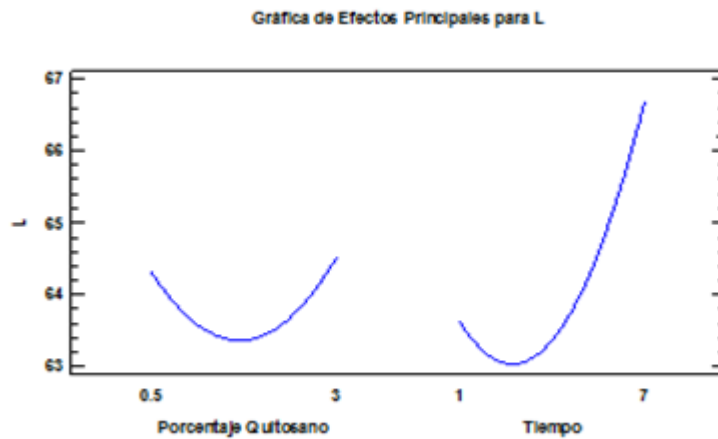


Figura 8. Gráfica de efectos principales para la coordenada de color L^*

En la figura 9, se muestra el gráfico de efectos principales del factor tiempo y concentración de quitosano sobre la coordenada de color L^* (luminosidad) del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano. Con respecto al quitosano, a medida que aumenta su concentración en el recubrimiento comestible, los valores de la coordenada de color L^* (luminosidad) disminuyen hasta un punto, luego empiezan a subir; pues y a medida que pasa el tiempo los valores de la coordenada de color L^* (luminosidad) aumentan.

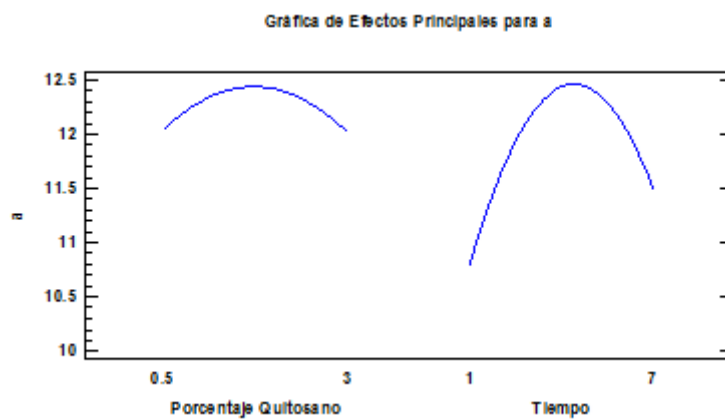


Figura 9. Gráfica de efectos principales para la coordenada de color a^*

En la figura 10, se muestra el gráfico de efectos principales del factor tiempo y concentración de quitosano sobre la coordenada de color a^* (+a indica rojo, -a indica verde) del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano. Con respecto al quitosano, a medida que aumenta su concentración en el recubrimiento comestible, los valores de la coordenada de color a^* (+a indica rojo, -a indica verde) aumentan hasta un punto, luego empiezan a descender; pues y a medida que pasa el tiempo los valores de la coordenada de color a^* (+a indica rojo, -a indica verde) aumentan hasta un punto, luego empiezan a descender.

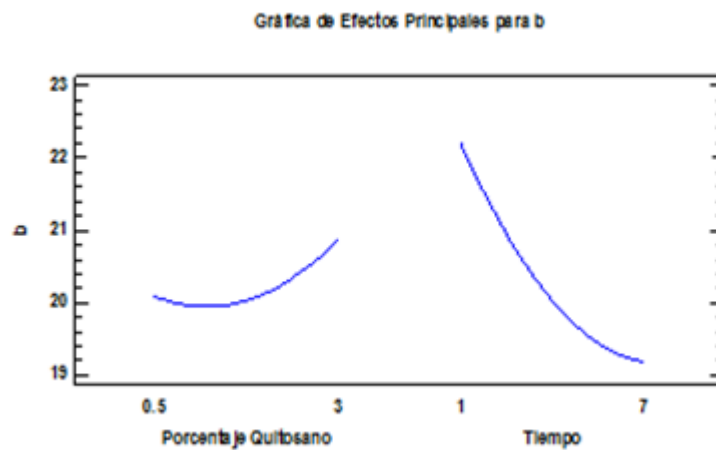


Figura 10. Gráfica de efectos principales para la coordenada de color b^*

En la figura 11, se muestra el gráfico de efectos principales del factor tiempo y concentración de quitosano sobre la coordenada de color b^* (+b indica amarillo, -b indica azul) del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano. Con respecto al quitosano, a medida que aumenta la concentración en el recubrimiento comestible, los valores de la coordenada de color b^* (+b indica amarillo, -b indica azul) aumentan; pues y a medida que pasa el tiempo los valores de la coordenada de color b^* (+b indica amarillo, -b indica azul) disminuyen, indicando la pérdida del color amarillo debido al pardeamiento. Esta coordenada de color b^* (+b indica amarillo, -b

indica azul) es la más representativa, porque el color del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano fue de color amarillo.

4.2.1.1.Relación óptima de color (CIE L*a*b*) con respecto al tiempo y concentración de quitosano

El análisis de los efectos individuales que causan los factores principales tiempo y concentración de quitosano sobre la variable dependiente color (CIE L*a*b*), nos sirve para tener conocimiento de la influencia que tiene cada factor si se trabajara por separado; pero en la tecnología de alimentos los factores actúan combinados al mismo tiempo, por lo que mediante las gráficas de superficie de respuesta fueron optimizados.

Las ecuaciones del modelo ajustado resultaron:

$$L^* = 67.614 - 2.95733*\text{Porcentaje Quitosano} - 1.38783*\text{Tiempo} + 0.672*\text{Porcentaje Quitosano}^2 + 0.174*\text{Porcentaje Quitosano}*\text{Tiempo} + 0.2*\text{Tiempo}^2 \dots\dots\dots(5)$$

$$a^* = 8.7512 + 0.980533*\text{Porcentaje Quitosano} + 1.30572*\text{Tiempo} - 0.2592*\text{Porcentaje Quitosano}^2 - 0.022*\text{Porcentaje Quitosano}*\text{Tiempo} - 0.143889*\text{Tiempo}^2 \dots\dots\dots(6)$$

$$b^* = 24.2404 - 1.08267*\text{Porcentaje Quitosano} - 1.26417*\text{Tiempo} + 0.288*\text{Porcentaje Quitosano}^2 + 0.0966667*\text{Porcentaje Quitosano}*\text{Tiempo} + 0.0738889*\text{Tiempo}^2 \dots\dots\dots(7)$$

De las ecuaciones (5),(6) y (7), se puede representar las combinaciones de los factores tiempo y concentración de quitosano y su influencia sobre las coordenadas de color CIE L* a* b*, mostrándose en las figuras 12, 13 y 14.

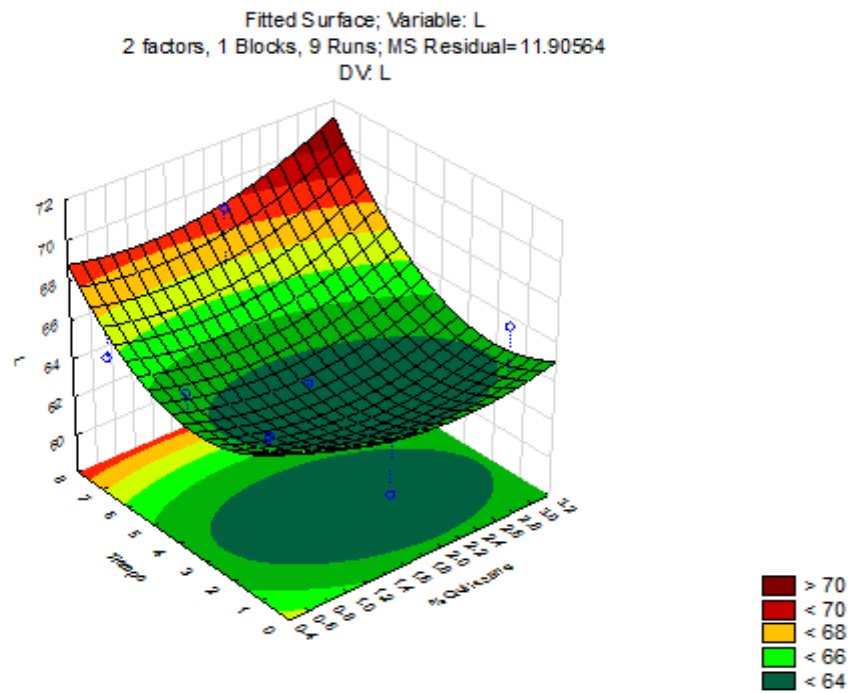


Figura 11. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la coordenada de color L^*

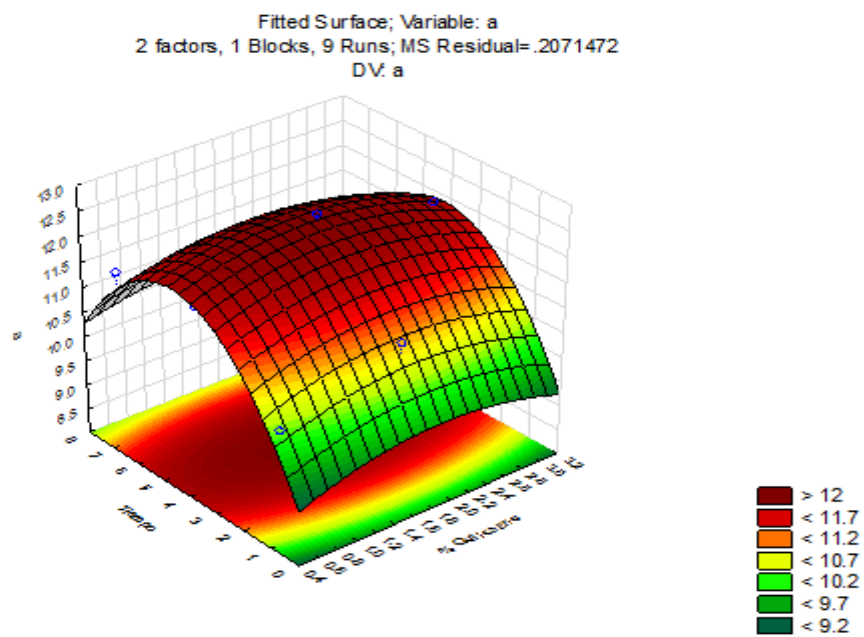
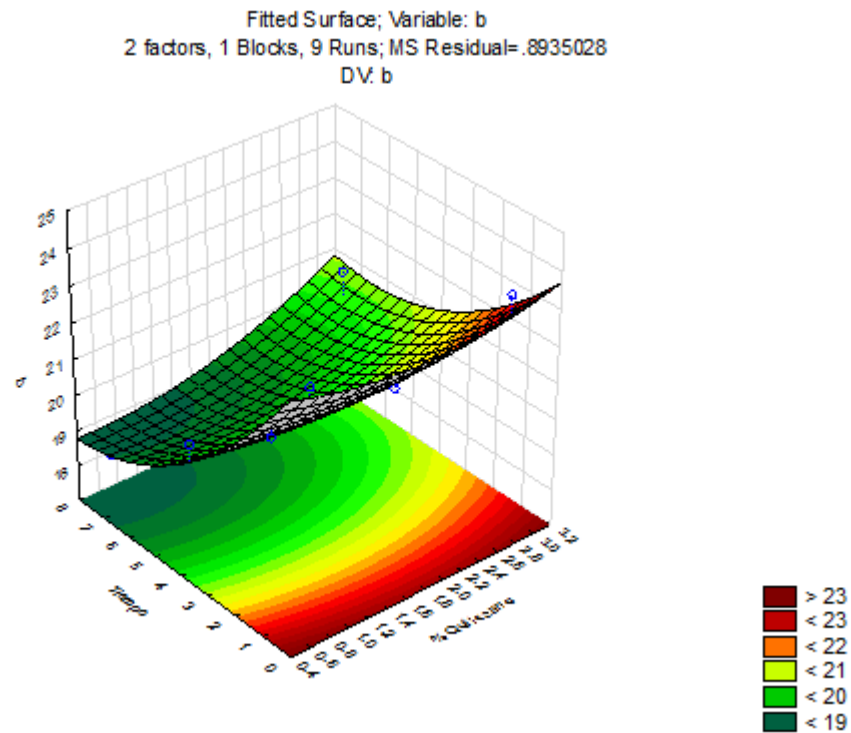


Figura 12. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la coordenada de color a^*



*Figura 13. Gráfico de Superficie de Respuesta Estimada para la coordenada de color b^**

Tabla 8. Optimización de respuesta para coordenada de color L^*

Meta: maximizar L^*

Valor óptimo = 68.5292

| Factor | Bajo | Alto | Óptimo |
|---------------|-------------|-------------|---------------|
| Tiempo | 1 | 7 | 7 |
| % Quitosano | 0.5 | 3.0 | 3.0 |

La tabla 8, muestra el óptimo para la cordenada de color L^* , la cual representa a la luminosidad del yacon mínimamente procesado, indicando un valor de 68. 53 que se logra con recubrimiento comestible de 3.0% p/v.

Tabla 9. Optimización de respuesta para coordenada de color a*

Meta: maximizar a*

Valor óptimo = 12.4640

| Factor | Bajo | Alto | Óptimo |
|---------------|-------------|-------------|---------------|
| Tiempo | 1 | 7 | 4 |
| % Quitosano | 0.5 | 3.0 | 1.7 |

La tabla 9, muestra el óptimo para la coordenada de color b* ((+a indica rojo, -a indica verde), indicando un valor de 12.46 que se logra obtener a 1.7% p/v de quitosano.

Tabla 10. Optimización de respuesta para coordenada de color b*

Meta: maximizar b*

Valor óptimo = 22.6842

| Factor | Bajo | Alto | Óptimo |
|---------------|-------------|-------------|---------------|
| Tiempo | 1 | 7 | 1 |
| % Quitosano | 0.5 | 3.0 | 3.0 |

En la tabla 10, muestra el óptimo para la coordenada de color b* (+b indica amarillo, -b indica azul); indicando un valor óptimo de 22.68 que se logra con un recubrimiento comestible a una concentración de 3.0% p/v de quitosano.

4.2.2. Análisis para la variable dependiente °Brix

En la tabla 11, nos muestra el análisis de la varianza para la variable dependiente °Brix.

Se utilizó el Software Statgraphic Plus.

Tabla 11. Análisis de varianza para la variable °Brix

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-------------------|----|----------------|---------|---------|
| A:Tiempo | 5.39017 | 1 | 5.39017 | 22.04 | 0.0033 |
| B:% Quitosano | 0.00733269 | 1 | 0.00733269 | 0.03 | 0.8682 |
| AA | 0.0104167 | 1 | 0.0104167 | 0.04 | 0.8433 |
| AB | 0.110321 | 1 | 0.110321 | 0.45 | 0.5268 |
| BB | 1.35514 | 1 | 1.35514 | 5.54 | 0.0567 |
| Error total | 1.46718 | 3 | 0.24453 | | |
| Total (corr.) | 8.22917 | 8 | | | |

El análisis de la varianza de superficie de respuesta, determina los factores importantes que afectan a los °Brix del yacon minimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano. También nos muestra el valor- P, que determina el efecto de los factores principales como son la concentración de quitosano (A) y tiempo (B); y las interacciones de los factores AA, AB y BB ; los cuales son estadísticamente significativos cuando $P < 0.05$. La tabla 11, nos muestra que la concentración de quitosano y las interacciones de los factores no influyen de manera significativa sobre la variable dependiente °Brix del yacon mínimamente procesado; caso contrario sucede con el tiempo, ya que su valor de $P < 0.05$.



Figura 14. Gráfica de efectos principales para la variable °Brix

En la figura 15, la gráfica de efectos principales, muestra que mientras pasa el tiempo aumenta el valor de los °Brix; mientras que a medida que aumenta la concentración de quitosano aumenta hasta un punto, luego empieza a descender.

4.2.2.1.Relación óptima de °Brix con respecto al tiempo y concentración de quitosano

El análisis de los efectos individuales que causan los factores principales tiempo y concentración de quitosano sobre la variable dependiente °Brix, nos sirve para tener conocimiento de la influencia que tiene cada factor si se trabajara por separado; pero en la tecnología de alimentos los factores actúan combinados al mismo tiempo, por lo que mediante las gráficas de superficie de respuesta fueron optimizados.

La ecuación del modelo ajustado resulto:

$$\text{°Brix} = 8.64063 + 0.282261*\text{Tiempo} + 0.981373* \% \text{ Quitosano} + 0.00694444*\text{Tiempo}^2 + 0.0336215*\text{Tiempo}* \% \text{ Quitosano} - 0.364875* \% \text{ Quitosano}^2 \dots\dots\dots(8)$$

De la ecuación (8), se puede representar las combinaciones de los factores de tiempo y concentración de quitosano y su influencia sobre los °Brix (sólidos solubles), mostrándose en la figura 16.

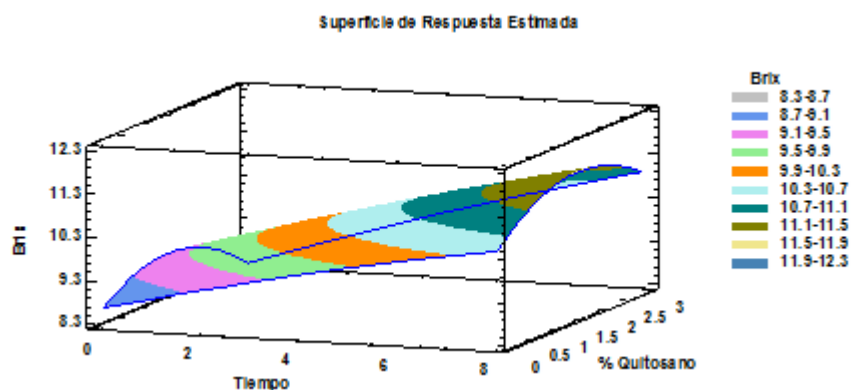


Figura 15. Gráfico de superficie de respuesta estimada para la variable °Brix

Tabla 12. Optimización de respuesta para la variable de respuesta °Brix

Meta: maximizar °Brix

Valor óptimo = 11.2905

| Factor | Bajo | Alto | Óptimo |
|---------------|-------------|-------------|---------------|
| Tiempo | 1.0 | 7.0 | 7.0 |
| % Quitosano | 0.5 | 3.0 | 1.67 |

La tabla 12, muestra el óptimo para la variable °Brix; indicando un valor óptimo de 11.29 que se logra con un recubrimiento comestible a una concentración de 1.67% de quitosano.

Según los resultados obtenidos se demuestra que la concentración de quitosano en el recubrimiento comestible aplicado al yacon mínimamente procesado no influye de manera significativa en las variable dependiente color (CIEL*a*b*) y °Brix. Por tales razones se optó por elegir la concentración menor del recubrimiento comestible a base de quitosano al 0.5% p/v, por el tema técnico; ya que a esa concentración facilita el trabajo, porque la solución del recubrimiento comestible es menos denso en comparación con las otras concentraciones estudiadas y se evita la pérdida de solución de recubrimiento. También por el tema de optimizar costos, si es que los resultados van a ser similares, obviamente se tiene que elegir trabajar con menos materia prima.

4.3. DETERMINACIÓN DE VIDA ÚTIL POR EL MÉTODO PROBABILÍSTICO DE WEIBULL

En la función de distribución Weibull, generalmente se utiliza el percentil 50 como el término de la vida útil, y corresponde al tiempo en el cual el 50% de los consumidores rechaza el producto (Hough *et al.* 2003).

Los resultados de la evaluación sensorial se muestran en la tabla 13 y 14. Dichos datos se utilizaron para determinar el tiempo de vida útil mediante el Método Grafico de Riesgos Acumulados de Weibull. El criterio de censura (falla) en la prueba sensorial correspondió al juicio “Me es indiferente”.

Tabla 13. Aceptación / rechazo de color de los panelistas que probaron las muestras de Yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano a diferentes tiempos de almacenamiento de 7°C- 8°C

| Consumidor | Tiempo de Almacenaje (días) | | | | | | |
|---------------------|-----------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | SI | SI | SI | SI | SI | NO | NO |
| 2 | SI | SI | SI | NO | SI | NO | NO |
| 3 | SI | SI | NO | SI | SI | NO | NO |
| 4 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO |
| 5 | SI | SI | SI | NO | NO | NO | NO |
| 6 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO |
| 7 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO |
| 8 | SI | SI | SI | SI | SI | NO | NO |
| 9 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 10 | SI | SI | SI | SI | SI | NO | NO |
| % Aceptación | 100% | 100% | 90% | 80% | 90% | 40% | 10% |
| % Rechazo | 0% | 0% | 10% | 20% | 10% | 60% | 90% |

Tabla 14. Aceptación / rechazo de sabor de los panelistas que probaron las muestras de Yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano a diferentes tiempos de almacenamiento de 7°C- 8°C

| Consumidor | Tiempo de Almacenaje (días) | | | | | | |
|--------------------|-----------------------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | SI | SI | SI | NO | NO | SI | NO |
| 2 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO |
| 3 | SI | SI | SI | SI | SI | NO | NO |
| 4 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 5 | SI | SI | SI | SI | SI | NO | NO |
| 6 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | NO |
| 7 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 8 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 9 | SI | SI | SI | SI | NO | NO | NO |
| 10 | SI | SI | SI | NO | SI | SI | SI |
| %Aceptación | 100% | 70% | 100% | 90% | 100% | 70% | 40% |
| % Rechazo | 0% | 30% | 0% | 10% | 0% | 30% | 60% |

En la tabla 13, se demuestra que mientras pasa el tiempo de almacenamiento del yacon mínimamente procesado aplicado un recubrimiento comestible a base de quitosano, la aceptación de los panelistas disminuye llegando a un porcentaje de rechazo del 90% en el sexto día, referente al color. Mientras que en la tabla 14, muestra que mientras pasa el tiempo de almacenamiento del yacón mínimamente procesado aplicado un recubrimiento comestible a base de quitosano, la aceptación de los panelistas disminuye llegando a un porcentaje de rechazo del 60% en el sexto día, referente al sabor. Según las tablas 13 y 14, se demuestra que el atributo de color obtiene mayor porcentaje de rechazo con respecto al porcentaje de rechazo del sabor; esto se debe al pardeamiento que lo hace menos atractivo al producto.

Los resultados sensoriales fueron usados para la determinación del final del tiempo de vida útil, estos fueron transferidos a una hoja de cálculo para la determinación de los riesgos acumulados y se construyó las curvas de riesgo, empleando el papel probabilístico de Weibull y siguiendo la metodología propuesta por Gacula y Kubala, citado por De la Cruz (2009).

Tabla 15. Conteo de las pruebas sensoriales para color: Aceptación (SI) y Rechazo (NO)

| Consumidor | Tiempo de Almacenaje (días) | | | | | | |
|------------|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | SI | SI | SI | SI | SI | 15 | 9 |
| 2 | SI | SI | SI | 18 | SI | 14 | 8 |
| 3 | SI | SI | 19 | SI | SI | 13 | 7 |
| 4 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | 6 |
| 5 | SI | SI | SI | 17 | 16 | 12 | 5 |
| 6 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | 4 |
| 7 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | 3 |
| 8 | SI | SI | SI | SI | SI | 11 | 2 |
| 9 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 10 | SI | SI | SI | SI | SI | 10 | 1 |

Tabla 16. Conteo de las pruebas sensoriales para sabor: Aceptación (SI) y Rechazo (NO)

| Consumidor | Tiempo de Almacenaje (días) | | | | | | |
|------------|-----------------------------|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | SI | SI | SI | 13 | 11 | SI | 6 |
| 2 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | 5 |
| 3 | SI | SI | SI | SI | SI | 9 | 3 |
| 4 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 5 | SI | SI | SI | SI | SI | 8 | 3 |
| 6 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | 2 |
| 7 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 8 | SI | SI | SI | SI | SI | SI | SI |
| 9 | SI | SI | SI | SI | 10 | 7 | 1 |
| 10 | SI | SI | SI | 12 | SI | SI | SI |

Para construir la curva de riesgo se tomó el criterio de falla en la prueba sensorial para el cual el producto se censura. Para cada valor observado se toma el tiempo y se marcan aquellos valores para los cuales el producto falla, mostrándose en la tabla 15 y 16. Se anota el orden del suceso en el que se suministra el tiempo, tanto para las muestras que fallan, como para las que no fallan. Este proceso genera una serie de observaciones ordenadas, luego se invierte el orden del suceso y se obtiene el rango inverso, denominado “K”. Los valores de riesgo $h(t)$ para las muestras que fallan se calculan mediante la ecuación (1). Para cada tiempo de falla se calcula el riesgo acumulado $H(t)$ sumando al riesgo actual el valor precedente, mostrándose en la tabla 17 y 18.

4.3.1. Color

Tabla 17. Riesgo “h”, riesgo acumulativo “H” para color

| K | Tiempo (dias) | h(t) | H(t) | LogH | Logt |
|----|---------------|--------|--------|------|------|
| 19 | 2 | 5.26 | 5.26 | 0.72 | 0.30 |
| 18 | 3 | 5.56 | 10.82 | 1.03 | 0.48 |
| 17 | 3 | 5.88 | 16.7 | 1.22 | 0.48 |
| 16 | 4 | 6.25 | 22.95 | 1.36 | 0.60 |
| 15 | 5 | 6.67 | 29.62 | 1.47 | 0.70 |
| 14 | 5 | 7.14 | 36.76 | 1.57 | 0.70 |
| 13 | 5 | 7.69 | 44.45 | 1.65 | 0.70 |
| 12 | 5 | 8.33 | 52.78 | 1.72 | 0.70 |
| 11 | 5 | 9.09 | 61.87 | 1.79 | 0.70 |
| 10 | 5 | 10.00 | 71.87 | 1.86 | 0.70 |
| 9 | 6 | 11.11 | 82.98 | 1.92 | 0.78 |
| 8 | 6 | 12.50 | 95.48 | 1.98 | 0.78 |
| 7 | 6 | 14.29 | 109.77 | 2.04 | 0.78 |
| 6 | 6 | 16.67 | 126.44 | 2.10 | 0.78 |
| 5 | 6 | 20.00 | 146.44 | 2.17 | 0.78 |
| 4 | 6 | 25.00 | 171.44 | 2.23 | 0.78 |
| 3 | 6 | 33.33 | 204.77 | 2.31 | 0.78 |
| 2 | 6 | 50.00 | 254.77 | 2.41 | 0.78 |
| 1 | 6 | 100.00 | 354.77 | 2.55 | 0.78 |

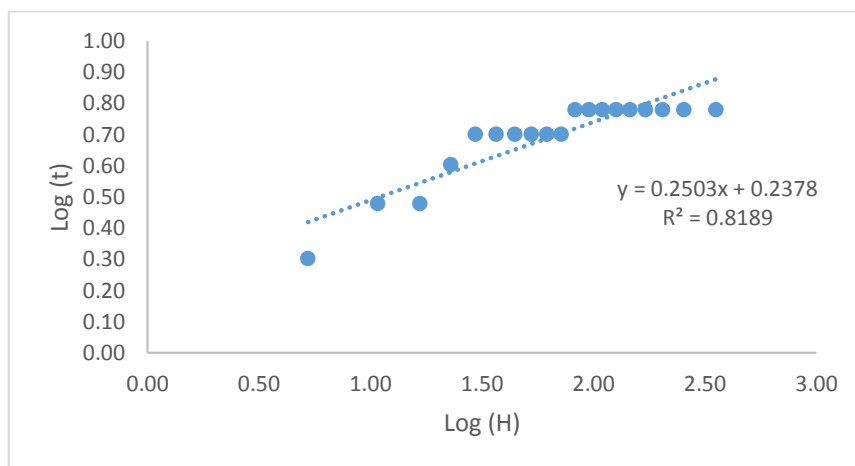


Figura 16. Gráfico de Riesgo de Weibull para Color

4.3.2. Sabor

Tabla 18. Riesgo “h”, riesgo acumulativo “H” para sabor

| K | Tiempo (días) | h(t) | H(t) | LogH | Logt |
|----------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 13 | 3 | 7.69 | 7.69 | 0.89 | 0.48 |
| 12 | 3 | 8.33 | 16.02 | 1.20 | 0.48 |
| 11 | 4 | 9.09 | 25.11 | 1.40 | 0.60 |
| 10 | 4 | 10.00 | 35.11 | 1.55 | 0.60 |
| 9 | 5 | 11.11 | 46.22 | 1.66 | 0.70 |
| 8 | 5 | 12.50 | 58.72 | 1.77 | 0.70 |
| 7 | 5 | 14.29 | 73.01 | 1.86 | 0.70 |
| 6 | 6 | 16.67 | 89.68 | 1.95 | 0.78 |
| 5 | 6 | 20.00 | 109.68 | 2.04 | 0.78 |
| 4 | 6 | 25.00 | 134.68 | 2.13 | 0.78 |
| 3 | 6 | 33.33 | 168.01 | 2.23 | 0.78 |
| 2 | 6 | 50.00 | 218.01 | 2.34 | 0.78 |
| 1 | 6 | 100.00 | 318.01 | 2.50 | 0.78 |

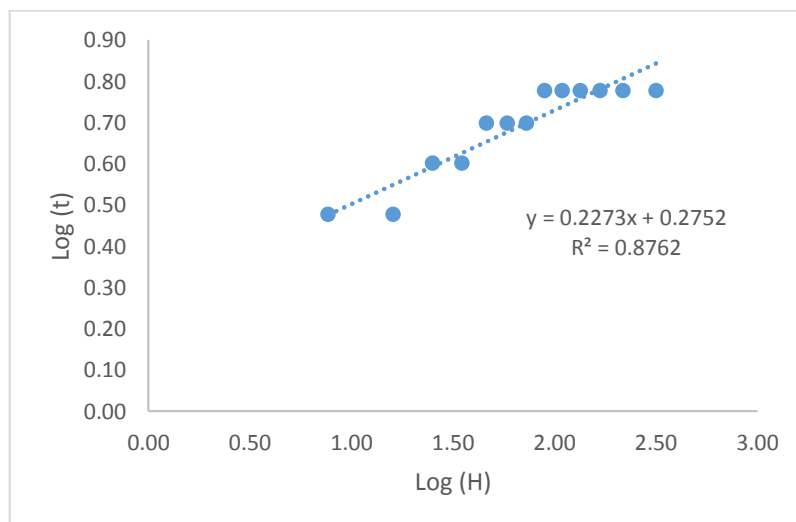


Figura 17. Gráfico de Riesgo de Weibull para sabor

Se calculó el valor del parámetro de forma (β), a partir del gráfico del papel probabilístico de riesgos acumulados de Weibull (Taoukis *et al.* 1998), mostrándose en el anexo 06 para el atributo de color y sabor. Se observa que en los dos casos de color y sabor presenta valores de β , mayores a la unidad, lo cual según Gacula y Kubala, citado por De la Cruz (2009), indican que la velocidad de fallas es creciente. Este resultado describe apropiadamente la velocidad de las fallas del yacon minimamente procesado. Según Gacula y Kubala, citado por De la Cruz (2009) los valores de β , por encima de 2 y menores a 5, indican que la curva de Weibull se asemeja a la curva normal (forma acampanada). Basándose en este resultado, el 50avo percentil constituye una buena aproximación del tiempo medio de fallas de la aceptabilidad analizada, ya que por la simetría de la distribución del 50avo percentil coincide con la media. A este valor se le conoce como tiempo de vida útil Nominal (NL_{50}). Los resultados encontrados cumple con lo mencionado por Gacula y Kubala, citado por De la Cruz (2009) para el atributo de color y sabor, ya que presenta un valor de β de 4 y 4.2.

El cálculo final de vida útil, se realizó tomando el criterio de un percentil del 50% de falla, a la cual se le conoce como “Tiempo de vida útil Nominal” Cardelli y Labuza, (2000). Para lo cual se trazó una línea perpendicular del origen del 50% de percentil hacia la curva de regresión, y a partir de dicho intercepto se trazó una línea paralela al eje de las sumatorias de fallas hasta el intercepto del eje del tiempo (tiempo de vida útil). Por lo que en el anexo 10, muestran que pasados los 5 días de almacenamiento a una temperatura de refrigeración de 7°C a 8°C, el yacon minimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano, tendrá una probabilidad del 50% de ser rechazado por el panel, referente al atributo de color y sabor.

Según los resultados obtenidos, el yacon minimamente procesado presenta aproximadamente 5 días de vida útil sensorial.

Según los datos sensoriales analizados anteriormente, nos indican que el quitosano no influye de manera significativa en detener el pardeamiento del yacon mínimamente procesado. Lo que le ayudado a mantenerse útil durante 5 días referente al atributo de calidad color ha sido por la adición de 0.4% p/v de ácido ascórbico a la solución de recubrimiento comestible, actuando como antioxidante. El quitosano lo ha mantenido fresco, con textura firme y ha actuado como antifúngico; ya que durante el almacenamiento no se ha evidenciado la presencia de hongos. Estos resultados concuerdan con lo mencionado por (Muzzarelli y Muzzarelli, 2003), donde especifica que el quitosano tiene actividad antifúngica y antibacteriana que puede ser bactericida o bacterioestática, dependiendo de las cepas y de las características del quitosano.

V. CONCLUSIONES

- El efecto del recubrimiento comestible a base de quitosano en la vida útil del yacón mínimamente procesado es positivo, ya que mantiene sus atributos de calidad sensorial de color y sabor.
- Según la metodología de superficie de respuesta, se optimizó el recubrimiento comestible a base de quitosano a una concentración de 0.5% p/v.
- El tiempo de vida útil sensorial del yacón mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano para el atributo de color es de cinco (5) días almacenados a temperatura de refrigeración de 7°C- 8°C, mediante el Método Gráfico de Ploteo de Riesgos Acumulados de Weibull.
- El tiempo de vida útil sensorial del yacón mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano para el atributo de sabor es de cinco (5) días almacenados a temperatura de refrigeración de 7°C-8°C, mediante el Método Gráfico de Ploteo de Riesgos Acumulados de Weibull.

VI. RECOMENDACIONES

- Ampliar la presente investigación para ser adaptada a nuevos productos alimentarios mínimamente procesados que no se oxiden con facilidad.
- Ampliar la presente investigación en yacón mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano, aplicando otros antioxidantes a la solución de recubrimiento para evitar por mayor tiempo el pardeamiento.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Aider, M. 2010. Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: Review. *LWT – Food science and technology*.43: 837 – 842.
- Andrade,VS; Barros, B; Fukushima KY; Takaki, GM. 2003. Effect of medium components and time of cultivation on chitin production by *Mucor circinelloides* (*Mucor javanicus* IFO 4570)- A factorial study. *Rev. Iberoam. Micol*; 20: 149 – 153
- Argüelles, W; Heras, AC; Acosta, N; Galed, G; Gallardo, A; Miralles, B; Peniche, C; Roman, JS. 2004. Caracterización de quitina y quitosano. En: *Quitina y quitosano: Obtencion, caracterización y aplicaciones*. 1° ed. Ed. Fondo editorial Pontificia Universidad Catolica del Peru. Lima, Peru. Pp. 312.
- Aguilar, MA. 2005. Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. Tesis de posgrado. Mexico, D.F. Centro de investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada. Instituto Politécnico Nacional. P.39
- Agulló, E; Mato, R; Tapia, C; Heras, A; San Román, J; Argüelles, W; Goycoolea, F; Mayorga, A; Nakamatsu, J; Pastor, A. 2004. “Quitina y Quitosano: Obtención, Caracterización y Aplicaciones”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial 2004, pp. 244 – 245.
- Allende, A; McEvoy, J; Tao, Y; Luo, Y. 2009. Antimicrobial effect of acidified, sodium hypochlorite, and citric acid on *Escherichia coli* O157:H7 and natural microflora of fresh-cut cilantro. *Food Control* 20: 230-234.
- Alvarez, RM. 2012. Formulación de un recubrimiento comestible para frutas cítricas, estudio de su impacto mediante aproximación metabolómica y evaluación de la calidad poscosecha. Tesis Doctoral. Recuperado de la base de datos de la Universidad de Antioquia.
- Amakura, Y; Umino, Y; Tsuji, S; Ito, H; Hatano, T; y Yoshida, I. 2002. Constituents and their antioxidative effects in eucaliptus leaf extract used as a natural food additive. *Food Chemistry*: 77: 47-56.
- Artés, F. 2000. Productos vegetales procesados en fresco en: *Aplicación del frío a los alimentos*. Editor: M. Lamúa. Editorial: Mundi Prensa. Cap. 5. p.p. 127-141.
- Asami, T; Minamisawa, K; Tsuchiya, T; Kano, K; Hori, I; Ohyama, T; Kubota, M ;Tsukihashi,T. 1991. Fluctuation of oligofructan contents in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) during growth and storage. *Soil Science and Plant Nutrition* 62(6): 621-627.
- Ayala – Zavala, JF., y Gonzales – Aguilar, GA. 2011. Use of additives to preserve the quality of fresh - cut fruits y vegetables. En: O. Martín-Belloso y R. Soliva – Fortuny (Eds). *Advances in Fresh – Cut Fruits and Vegetables Processing*. Boca Raton .pp. 231-254.

- Arredondo, A.; Londoño, M.E. 2009. Hidrogeles. Potenciales biomateriales para la liberación controlada de medicamentos. *Revista Ingeniería Biomédica*; 3, (5): 83-94.
- Bhale, S; No, H; Prinyawiwatkul, W; Farr, A; Nadarajah, K; Meyers, S. 2003. Chitosan coating improves shelf life of eggs. *J. Food Sci.* 68(7): 2378-2383.
- Baldwin, E; Hagenmaier, R; Bai, J. 2012. Edible coatings and films to improve food quality (2 ed.): Taylor & Francis Group, LLC.
- Barry-Ryan, C; Martin- Diana, AB. (2007). Extending and Measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in food Science & Technology*, 18: 373 – 386.
- Beuchat, LR. 2002. Ecological factors influencing survival and growth of human pathogens on raw fruits and vegetables. *Microbes Infection*, 4: 413-423.
- Beaulieu, J. 2011. Factors affecting sensory quality of fresh cut-produce. En O. Martín – Belloso y R. Soliva- Fortuny. (Eds.), *Advances in fresh cut fruits and vegetables processing*, (pp.115-136).
- Brzezinska, M; Lalke, E; Donderski, W; Walezak. 2008. Occurrence and activity of microorganisms in shrimp waste, *Current Microbiology*, 57, DOI 10.1007/s00284-008-9246-1, 580-587.
- Bourtoom, 2008. Factor Affecting the Properties of Edible Film Prepared from Mung Bean Proteins, *International Food Research Journal*.
- Bouwmeester, H; Dekkers, S; Noordam, M; Hagens, W; Bulder, A; Heer, C. 2007. Health impact of nanotechnologies in food production. RIKILT report 2007.014.
- Bosquez E. 2003. Elaboración de recubrimientos comestibles formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para reducir la cinética de deterioro en fresco del limón persa (*Citrus latifolia* Tanaka). (Tesis Doctoral). Universidad Autónoma Metropolitana. México D.F.
- Calderon, AD. 2013. Efecto de la adición de transglutaminasa y carragenina en geles lácteos inducidos por renina. (Tesis de maestría), Instituto Politécnico Nacional, México.
- Cahú, TB; Santos, SD; Mendes, A; Córdula RC; Chavante, SF; Carvalho LB; Nader, HB; Bezaerra, RS. 2012. Recovery of protein, chitin, carotenoids and glycosaminoglycans from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) processing waste, *Process Biochemistry*, 47: 570–577.
- Cardelli, C; Labuza, T. 2000. Application of Weibull Hazard Analysis to the determination of the Shelf Life of Roasted and Ground Coffee. Academia Press. Lebens.
- Castañeda, C; Fuente, NM; Pacheco, RD; Ortíz, T; Barboza, JE. 2011. Potencial de los quitosanos oligosacáridos generados de quitina y quitosina, *Acta Universitaria*, 21(3), 14.

- Chircov, S. 2002. The antiviral activity of chitosan (Review). *Applied Biochemical Microbiology* 38: 1-8.
- Collazos, C. 1993. La composición de alimentos de mayor consumo en el Perú. 6ta edición, Ministerio de Salud – Instituto Nacional de Nutrición. Lima.
- Dash, M; Chiellini, F; Ottenbrite, RM; Chiellini, E. 2011. Chitosan- A versatile semi-synthetic polymer in biomedical applications, *Progress in Polymer Science*, 36: 981–1014.
- De la Cruz Quispe, H.U. 2009. "Complementación Proteica de Harina de Trigo (*triticum aestivum* L.) por Harina de Quinoa (*chenopodium quinoa willd*) y Suero en Pan de Molde y Tiempo de Vida Útil". Tesis Mag. Lima-Peru. Universidad Nacional Agraria la Molina. 93p.
- Devlieghere, A.; Vermeulen, F; Debevere, J. 2004. Chitosan: antimicrobial activity, interaction with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiology*, 21: 703 -714.
- Díaz, K; Fraga, A. 2003. Productos Cuarta Gama. Revista Tattersall. Vol. 184. Scuola Sant'Anna. Pisa, Italia. Fecha de consulta: 10/02/10.
- Durango, A. M., Soares, N. F. F., Andrade, N. J. (2006). Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. *Food Control*. (17) 336 – 341.
- Embuscado, M; Huber, K. 2009. Edible films and coatings for food applications. Springer Dordrecht Heidelberg London New York.
- Etienne, O; Schneider, A; Taddei, C; Richert, L; Schaaf, P; Voegel, JC; Egles, C; Picart, C. 2005. Degradability of polysaccharides multilayer films in the oral environment: an in vitro and in vivo study. *Biomacromolecules* 6: 726–733.
- Flores, SK; Costa, D; Yamashita, F; Gerschenson, LN; Grossmann, MV. 2010. Mixture design for evaluation of potassium sorbate and xanthan gum effect on properties of tapioca starch films obtained by extrusión. *Materials Science and Engineering*, 30: 196–202.
- Gácula, M; Kubala, J. 1975. Statistical Methods for ShelfLife Failures. *Journal of Food Science*. N° 40: 404.
- García, M. 2004. Inhibición de *Aspergillus Parasiticus* y *Penicillun digitatum* con mezclas energicas de antimicrobianos naturales y sintéticos en sistemas modelo de puré de manzana mínimamente procesado. Licenciatura ingeniería de alimentos. Departamento de Ingeniería Química y alimentos, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla México.
- García Ángel H. 2009. Efectos de películas de quitosano sobre la vida de anaquel del queso panela. Tesis de licenciatura. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

- González, M; Lobo, M. 2005. Nuevas Tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados, (pp: 96-115). Sonora, México.
- Graefe, S. 2002. Post-harvest compositional changes of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) as affected by storage conditions and cultivar. M SC. Thesis, University of Kassel, Germany. 63 p.
- Graefe, S; Manrique, I; Herman, M; Bukart, A. 2002. Post-harvest compositional changes of yacon roots (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl.) as affected by storage conditions and cultivar. Challenges to Organic Farming and Sustainable Land Use in the Tropics and Subtropics. Deutscher Tropentag 9-11, cot. 2002. Kassel Witzenhausen, 1 p.
- Graefe, S; Hermann, M; Manrique, I; Golombek, S; Buerkert, A. 2004. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. *Field Crops Research* 86: 157-165.
- Guillaume, C; Guillard, V; Gontard, N. 2011. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables modeling approach. En: O. Martín –Belloso y R. Soliva-Fortuny (Eds). *Advances in Fresh – Cut Fruits and Vegetables Processing*. Boca Raton. pp. 255 – 284.
- Guzmán, G. 2003. Efecto Del tipo de plastificante en películas de quitosano. Tesis de licenciatura. Universidad de las Américas Puebla.
- Jeon, Y; Kamil, J; Shahidi, F. 2002. Chitosan as an edible invisible film for quality preservation of herring and Atlantic cod. *J. Agr. Food Chem.* 50(18), 5167-5178.
- Jiménez, M; García, HS; Beristain, CI. 2004. Spray- drying microencapsulation and oxidative stability of conjugated linoleic acid. *European food Research and Technology.* 219: 588-592.
- Hough, G; Langohr, K; Gómez, G; Curia, A. 2003. Survival analysis applied to sensory shelf life of foods. *Journal of Food Science* 68: 359– 362.
- Hernández, E; Cruz, R; Robledo, F; Santoyo, L. 2007. Caracterización del alcohol polivinílico usado en recubrimientos de base acuosa. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 38(2): 15-25.
- Hernández-Núñez, C; Varo-Arguello, W; Leyva-Reyes, N; Ramírez-Barragán, C; Delgado-Fornué, E; Andrade-Ortega, J. 2008. Utilización de residuos de cáscara de camarón para la obtención de quitina blanqueada: propuesta de una metodología a base de tratamientos alcalino-ácidos y ozono, Avances en la investigación científica en el CUCBA.
- Hiwasa, K; Kinugasa, Y; Amano, S; Hashimoto, A; Nakano, R; Inaba, A; Kubo, Y. 2003. Ethylene is required for both the initiation and progression of softening in pear (*Pyrus communis* L.) fruit. *Journal of Experimental Botany* 54:771-779.
- Kandra, P; Mohan, M; Padma, JHK. 2012. Efficient use of shrimp waste: present and future trends, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 17-29. DOI 10.1007/s00253-011-3651-2, 18- 20, 22

- Khan, TA; Peh, KK; Chang. 2002. Reporting degree of deacetylation values of chitosan: the influence of analytical methods. *J. Pharm Pharmaceut. Sci.*5(3): 205-212.
- Khanafari, A; Marandi, R; Sanatei, S. 2008. Recovery of Chitin and Chitosan from shrimp waste by chemical and microbial methods, Iran. *J. Environ. Health Science Engineering*, Vol. 5, No. 1, pp. 19-24
- Kardas, I; Struszczyk, MH; Kuchaska, M; Van den Broek, L; Van Dam, J; Ciecanska, D. 2012. Chitin and chitosan as functional biopolymers for industrial applications. En P. Kardas (Ed.), *Polysaccharide Research: The European Polysaccharide Network of Excellence (EPNOE): Research Initiatives and Results* (p.p 329-337).
- Kader, A. 2002. Quality parameters of fresh-cut fruits and vegetable products. En: L. Olusola. (Ed.), *Fresh-cut and vegetables. Science, Technology, and market*, (pp. 21-30)
- Khor, E; Tech, V. 2001. Chitin: Fulfilling a Biomaterials Promise. Elsevier, Amsterdam, 1 – 3.
- Krochta, JM. 2002. Proteins as Raw materials for films and coatings: definitions, current status and opportunities. En *Protein-based films and coatings*.
- Laurila, E; Ahvenainen, R. 2002. Minimal processing of fresh fruits and vegetables. En: W. Jongen. (Ed.), *Fruit and vegetable processing. Improving quality*, (pp. 288-306).
- Lárez, C. 2003. Algunos usos del quitosano en sistemas acuosos. *Revista Iberoamericana de Polímeros Volumen 4(2): 91-109.*
- Lee, KG; Shibamoto, T. 2001. Antioxidant property of aroma extract isolated from clove buds (*Zyzygium aromaticum* L.). *Food Chemistry*. 74: 443-448.
- León, K; Mery, D; Pedreschi, F; y León, J. 2006. Color measurement in Lab units from RGB digital images. In *Food Research International*. Vol. 39, pp. 1084–1091.
- Lin, D; Zhao, Y. 2007. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 6: 60-75.
- Manrique, I; Parraga, A; Hermann, M. 2003. Jarabe de Yacon: Principios y procesamiento, Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Peru, pp. 8- 3.
- Martínez-Camacho, AP; Cortez-Rocha, MO; Ezquerro-Brauer, JM; Graciano-Verdugo, AZ; Rodríguez-Félix, F; Castillo-Ortega, MM; Yépez-Gómez, MS; Plascencia-Jatomea, M. 2010. Chitosan composite films: Thermal, structural, mechanical and antifungal properties. *Carbohydrate Polymers*, doi:10.1016.
- Martín-Belloso, O; Soliva-Fortuny, RC; Baldwin, E. 2005. Conservación mediante recubrimientos comestibles. En: *Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados*. G González-Aguilar, A Gardea, F Cuamea-Navarro (eds.). pp. 341-356. México: CIAD.

- McHugh, TH; Avena-Bustillos, R; Krochta, JM. 1993. Hydrophilic edible films: Modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *J. Food Sci.* 58, pp. 899–903.
- Martin-Belloso, O; Rojas-Grau, MA; Soliva-Fortuny, R. 2009. Delivery of flavor y active ingredients using edible films and coatings. En: M.E. Embuscado y K.C. Huber (Ed.). *Edible films and coatings for food applications.*
- Marzo, RI. 2010. Efecto del tipo y contenido de aceites esenciales sobre las propiedades mecánicas y barrera de películas comestibles basadas en zeína. Tesis de Pregrado. Universidad Pública de Navarra, España.
- Meyers, SP ;Park, NY; Lee, SH; No, HK. 2002. Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. *International journal of food microbiology*, 74: 65 – 72.
- Milos, M; Mastelic, J; Jerkovic, I. 2000. Chemical composition and antioxidant effect of glycosidically bound volatile compounds from oregano (*Origanum vulgare L.ssp.hirtum*). *Food Chemistry*. 71: 79 – 83.
- Min, S; Krochta, JM. 2005. Inhibition of *Penicillium commune* by edible whey protein films incorporating lactoferrin, lactoferrin hydrolysate, and lactoperoxidase systems. *Journal of Food Science* 70: M87-M94.
- Möller, H; Grelier, S; Pardon, P; Coma, V. 2004. Antimicrobial and physico-chemical properties of chitosan–HMPC based films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 6585–6591.
- Muñoz, A. M. 2009. Monografía: Yacón (*Smallanthus sonchifolius*).
- Muzzarelli, C; Muzzarelli, RAA. 2003. Chitin related food science today (and two centuries ago). *Agro Food Industry Hi-Tech*, 14(5): 39-42.
- Muños. 2011. Recubrimientos comestibles para frutas y hortalizas. Recuperado el 24 de Mayo de 2011, de [Recubrimientos-Comestibles-Para-Frutas-y- Hortalizas](#).
- Olivas, GI; Barbosa-Cánovas ,GV. 2005. Edible coating for fresh-cut fruits. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri.* 45: 657-670.
- Pastor, C; Vargas, M; González-Martínez, C. 2005. Recubrimientos comestibles: Aplicación a frutas y hortalizas. *Revista: Alimentación, Equipos y Tecnología* 197(24):130-135.p
- Pastor, AA; Higuera, I. 2004. Generalidades. En: *Quitina y Quitosano: obtención, características y aplicaciones*. 1° ed. Ed. Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica de Perú. Lima, Perú. Pp 312.
- Parish, M.E; Beuchat, LR; Suslow, TV; Harris, LJ; Garret, FH; Farber, JN; Busta, FF. 2003. Methods to reduce/eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2(1):161 – 173.

- Meyers, SP ;Park, NY; Lee, SH; No, HK. 2002. Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. *International journal of food microbiology*, 74: 65 – 72.
- Park, D. 2002. The concept of food safety. Internatioanl Workshop on mycotoxins. College Park, Maryland, USA.
- Park, S; Marsh, K; Rhim, J. 2002. Characteristics of different molecular weight chitosan films, affected by the type of organic solvents. *J. Food Sci.* 67(1), 194-197.
- Pérez, L. 2003. Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo de pardeamiento enzimático en pera (variedad *Blanquilla*) mínimamente procesada. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos. Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, Valencia, España. 256 p.
- Perez, B; Baez, R. 2003. Utilizacion de ceras comestibles en la conservacin de frutas. *Alimentaria*, julio-agosto.
- Pillai, CKS; Paul, W; Sharma, C. 2009. Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. *Prog. Polym. Sci.* 34, (1): 614 – 678.
- Quesada-Gallo, JA. 2009. Delivery of food additives and antimicrobials using edible films coatings. En: M.E. Embuscado y K.C. Huber (Ed). *Edible films coatings for food applications*.
- Quintero, C; Falguera, V; Muñoz, A. 2010. Películas y recubrimientos comestibles: Importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Revista Tumbaga* 1(5):93-118.
- Raafat, D; Sahl, H. 2009. Chitosan and its antimicrobial potential-a critical literature survey. *Microb. Biotechnol.* 2: 186-201.
- Rabea, E; Badawy, M; Stevens, C; Smaggehe, G; Steurbaut, W. 2003. *Biomacromolecules* 4: 1457-1465.
- Rabea, EI; Badawy, MEI; Rogge, TM; Stevens, CV; Smaggehe, G; Höfte, M; Steurbaut W. 2005. Insecticidal and fungicidal activity of new synthesized chitosan derivatives. *Pest Management Science*, 61: 951–960.
- Rodríguez, MS; Albertengo, L; Debbaudt, A; Agulló, E. 2005. Uso del quitosano en alimentos. In A. G. A. González, A. A. Gardea, & N. F. Cuamea (Eds.), *Nuevastecnologías de conservación de productos frescos cortados* (p. 558). México: CIAD.
- Roblejo, L. 2009. Evaluación de la aplicación de coberturas de quitosana en la conservación de tomates. La Habana: Universidad de la Habana, Instituto de Farmacia y Alimentos.
- Romanazzi, G; Nigro, F; Ippolito, A; Divenere, D; Salerno, M. 2002. Effect of pre- and post-harvest chitosan treatments to control storage grey mold of table grapes. *J. Food Sci.* 67(5): 1862-1867.

- Rotondo, R; Ferratto, JA; Firpo, IT. 2008. Hortalizas mínimamente procesadas o de IV Gama. Facultad de Ciencias Agrarias. Revista Agromensajes de la Facultad. No. 26 Universidad Nacional de Rosario. Fecha de consulta: 10/01/10.
- Rico, D; Martín-Diana, AB; Barat, JM; Barry-ryan, C. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: *a review Trends in Food Science & Technology*. 18: 373-386.
- Rinaudo, M. 2006. Chitin and Chitosan: Properties and applications. *Prog. Polym. Sci*; 31, (1): 603 – 632.
- Rojas, M. 2005. Sandía (*Citrullus vulgaris*) mínimamente procesada conservadas en atmósferas modificadas, Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Instituto Tecnológico de Mérida. 71p.
- Rojas Graü, MA. 2006. Recubrimiento y sustancias de origen natural en manzana fresca cortada: Una nueva estrategia de conservación. Tesis de doctorado. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad de Lleida. España.
- Rojas-Graü, M; Raybaudi-Massilia, R; Soliva-Fortuny, R; Avena-Bustillos, R; McHugh, T; Martin-Belloso, O. 2007. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*; 45:254-264
- Ruiz, JO. 2004. Caracterización reológica de emulsiones aceite-en-agua (o/w) estabilizadas con goma de mezquite y quitosano y su efecto en la permeabilidad de películas comestibles. (Tesis Maestría), Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica: Universidad Autónoma Metropolitana. Mexico D.F.
- Ruíz, F. 2009. Aplicación de películas comestibles a base de quitosano y mucílago de nopal en fresa (*Fragaria ananassa*) almacenada en refrigeración. Recuperado el 25 de Enero de 2012, de Colección de Tesis Digitales Univesidad de la Americas Puebla.
- Saavedra, H; Algecira, NA. 2010. Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas; Evaluation of edible films of cassava starch and isolated soy protein in the preservation of strawberries. *NOVA publ.cient*, 8(14).
- Seminario, J; Valderrama, M; Manrique, I. 2003. El Yacon: Fundamentos para el aprovechamiento de un Recurso Promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Peru, 60p.
- Salinas-Hernández, RM; González-Aguilar, GA; Pirovani, ME; Ulín-Montejo, F. 2007. Modelación del deterioro de productos vegetales frescos cortados. *Universidad y Ciencia* 23 (2): 183-196.
- Shahidi, JKM; Arachchi; Jeon, Y. 1999. Food applications of chitin and chitosans. *Trends Food Sci. Technol.* 10: 37–51.

- Serrano, M; Martínez-Romero, D; Guillén, F; Valverde, JM; Zapata, P; Castillo, S; Valero, D. 2008. The addition of essential oils to MAP as a tool to maintain the overall quality fruits. *Trends in food Science & Technology*.19: 464 – 471.
- Silveria, AC. 2009. Técnicas ecoinnovadoras para elaborar melón Galia mínimamente procesado en fresco. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería en Alimentos y del Equipamiento Agrícola. Cartagena, España. 380p.
- Soliva-Fortuny, RC; Martín – Belloso, O. 2003. New advances in extending the shelf – life of fresh – cut fruits: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 14: 341 – 353.
- Sothornvit, R; Krochta, J. 2005. Plasticizers in edible films and coatings. En: *Innovations in food packagings*, Han, J.H. (ed). Amsterdam, The Netherlands, Elsevier.
- Tapia, MS; Raybaudi-Massilia, RM; Martín-Belloso, O. 2005. Patógenos asociados a frutas frescas cortadas. Incidencia, supervivencia y crecimiento, brotes y control. En *Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas* (pp. 111 - 120). CIAD - B. ISBN: 968-5862-01-X.
- Taoukis, P; Bili, M; Giannakourou. 1998. Application of Shelf life Modelling Of Chilled salad products to a TTI based distribution and stock rotation system. *Proceeding of the International Symposium on Applications of Modelling as an innovative Technology in the Agri-food-chain*. Ed. L.M.M. Tjjsken. Wageningen. Netherlands.p. 131-140.
- Toivonen, PMA; Brummell DA. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*48: 1-14.
- Valencia-Chamorro, SA; Palou, L; Del Río, MA; Pérez-Gago, MB. 2011. Antimicrobial edible films and coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 51:872-900.
- Vargas, M; Pastor, C; Chiralt, A; McClements, DJ; González – Martínez, C. 2008. Recent Advances in edible coatings for fresh y minimally Processed fruits. *Crit.Rev Food Sci.Nutr*.48: 496-511.
- Villacres, E; Rubio, A; Cuadrado, L. 2007. Jicama: Raiz Andina con Propiedades Nutraceuticas, INIAP. Boletín Técnico N° 128, Quito, Ecuador, PP. 4,5.
- Zhang, MI; Tan, T; Yuan, H; Rui C. 2003. Insecticidal and fungicidal activities of chitosan and oligo-chitosan. *Journal of Bioactive and Compatible Polymer*, 18: 391–400.

VIII. ANEXOS

Anexo 01:

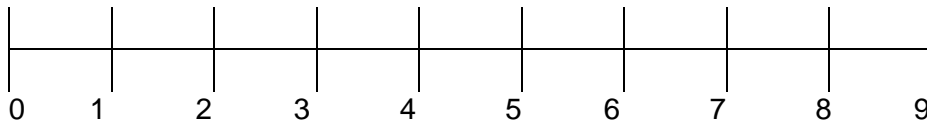
ENCUESTA

NOMBRE: _____ **FECHA** _____

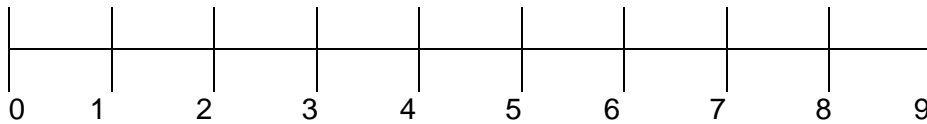
PRODUCTO: Yacon mínimamente procesado

Frente a usted hay una muestra de Yacon mínimamente procesado, la cual debe probar una vez y encierre con un círculo el término que más describa lo que usted siente por la muestra.

COLOR:



SABOR:



LEYENDA:

| | |
|---------------------------|---|
| Me disgusta muchísimo | 0 |
| Me disgusta mucho | 1 |
| Me disgusta moderadamente | 2 |
| Me disgusta un poco | 3 |
| Me disgusta muy poco | 4 |
| Me es indiferente | 5 |
| Me gusta un poco | 6 |
| Me gusta moderadamente | 7 |
| Me gusta mucho | 8 |
| Me gusta muchísimo | 9 |

Muchas gracias!

Anexo 02:



Imagen de quitosano en escamas

Anexo 03:



Yacón morfortipo III (Hualqui)

Anexo 04:

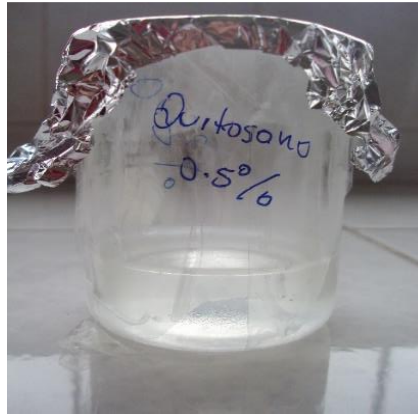


Imagen de solución de recubrimiento comestible a 0.5% p/v de quitosano

Anexo 05:

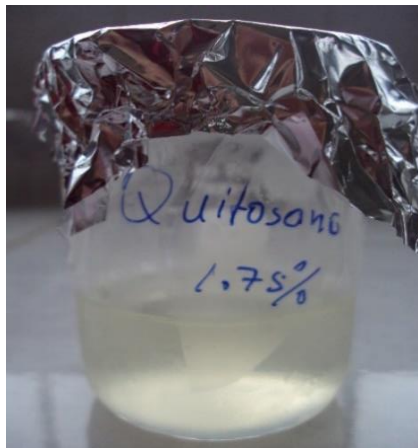


Imagen de solución de recubrimiento comestible a 1.75% p/v de quitosano

Anexo 06:

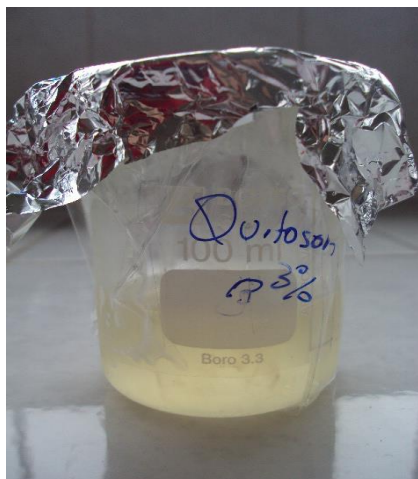


Imagen de solución de recubrimiento comestible a 3% p/v de quitosano

Anexo 07:



Imagen de yacon minimamente procesado sumergido en solución de recubrimiento comestible a base de quitosano

Anexo 08:

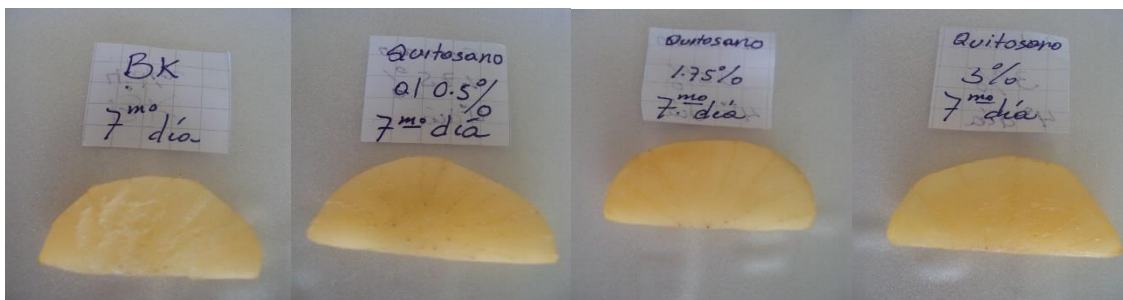


Imagen de yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano en 3 concentraciones diferentes y sin recubrimiento comestible tomadas en el séptimo día

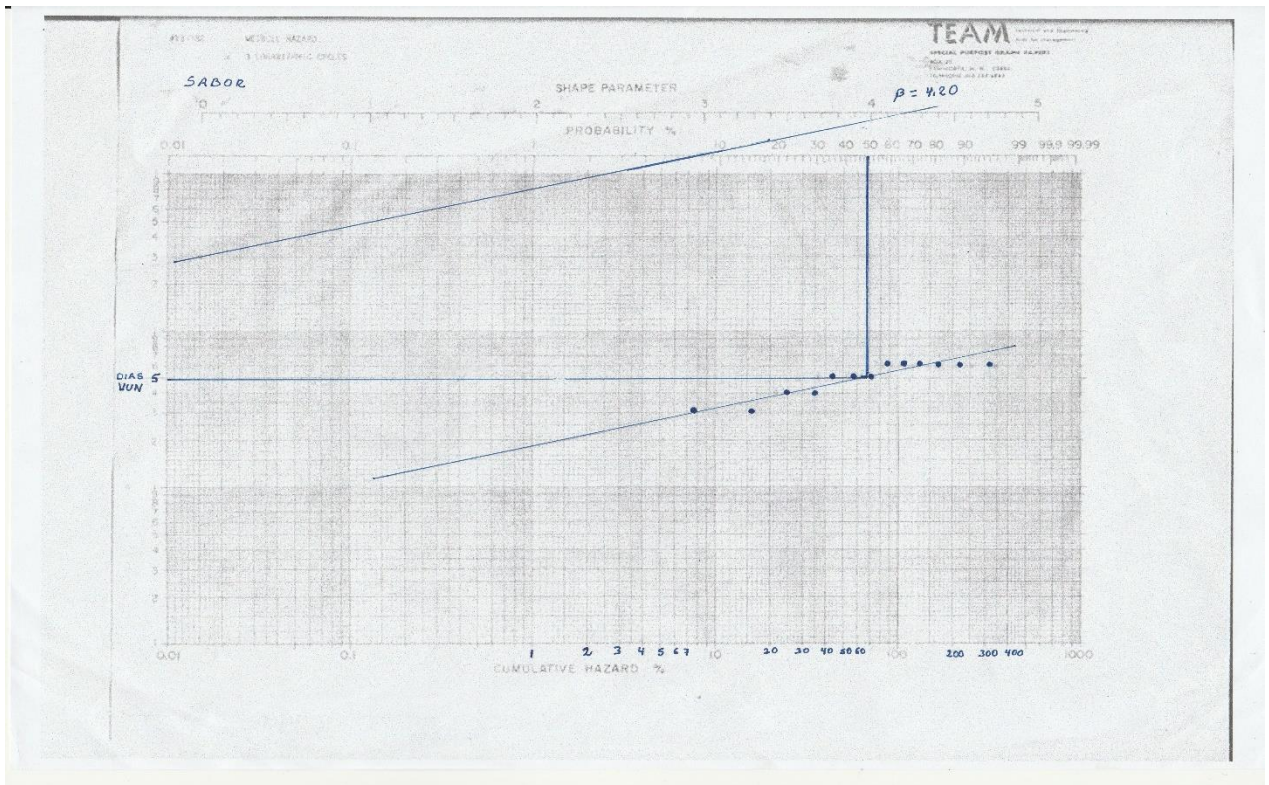
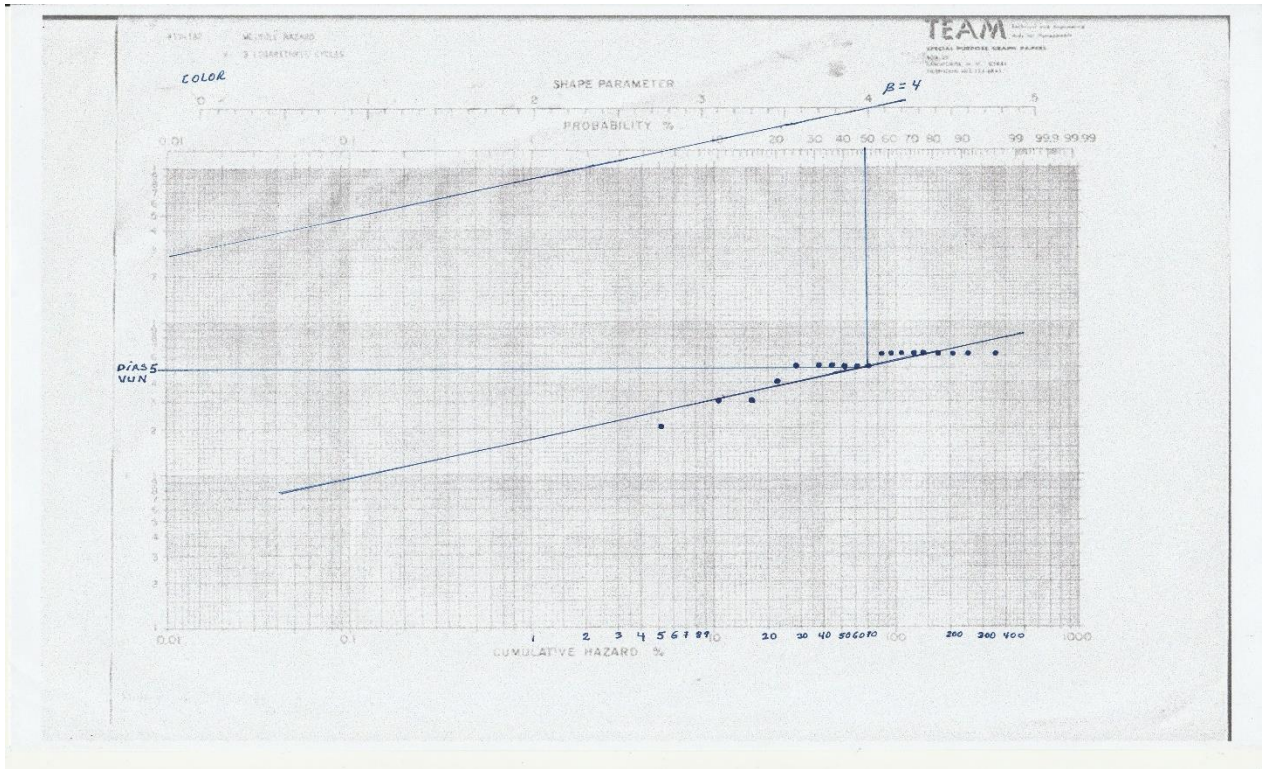
Anexo 09:



Imagen del envasado del yacón mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano

Anexo 10:

Tiempo de vida útil del yacon mínimamente procesado con recubrimiento comestible a base de quitosano referente al color y sabor en el papel probabilístico Weibull



IX. GLOSARIO

Quitina: Sustancia formada por glúcidos nitrogenados, de color blanco e insoluble en agua, que constituye el material principal del que está formado el revestimiento exterior del cuerpo de los artrópodos, así como ciertos órganos de los hongos.

Quitosano: Es un polisacárido lineal compuesto de cadenas distribuidas aleatoriamente de β -(1-4) D-glucosamina (unidades deacetiladas) y N-acetil-D-glucosamina (unidad acetilada).

Glicerina: Es un alcohol con tres grupos hidroxilos. Es utilizado en la industria alimentaria en los recubrimientos comestibles como plastificante.

Recubrimiento comestible: Un recubrimiento comestible (RC) se puede definir como una matriz continua, delgada, que se estructura alrededor del alimento generalmente mediante la inmersión del mismo en una solución formadora del recubrimiento.

Película comestible: Una película comestible (PC) es una matriz preformada, delgada, que posteriormente será utilizada en forma de recubrimiento del alimento o estará ubicada entre los componentes del mismo.

CIEL*a* b* (CIELAB): El espacio CIELAB permite especificar estímulos de color en un espacio tridimensional. El eje *L es el de luminosidad (*lightness*) y va de 0 (negro) a 100 (blanco). Los otros dos ejes de coordenadas son a* y b*, y representan variación entre rojizo-verdoso, y amarillento-azulado, respectivamente. Aquellos casos en los que $a^* = b^* = 0$ son acromáticos; por eso el eje *L representa la escala acromática de grises que va de blanco a negro.

Función riesgo h(t): Es conocida también como índice instantáneo de fracaso y mide la probabilidad en que determinado producto que ha sobrevivido hasta un tiempo t.

Función riesgo acumulada $H(t)$: Es la sumatoria de todos los valores de riesgo de las unidades que fallaron anteriormente incluyendo la unidad fallada.

Método probabilístico de Weibull: La función de distribución Weibull, generalmente se utiliza el percentil 50 como el término de la vida útil, y corresponde al tiempo en el cual el 50% de los consumidores rechaza el producto.