

EVALUACIÓN NANOESTRUCTURAL DE PELÍCULAS COMESTIBLES, ELABORADOS A PARTIR DE ALMIDÓN Y FIBRA DE PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) Y SU APLICACIÓN EN RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN FRESAS (FRAGARIA).

Carlos Gabriel Chamorro Ortiz¹, Juan Camilo Pantoja Arévalo², Esneider Rodríguez Rodríguez³, Valeri Alejandra Vallejos Culchá⁴, Diana Carolina Potosí Calvache⁵

^{1,2,3,4} Aprendiz Tecnoacademia, Línea de formación agroindustria y alimentos, Tecnoacademia, Túquerres, Regional Nariño

⁵Facilitadora Tecnoacademia, Línea de formación agroindustria y alimentos, Tecnoacademia, Túquerres, Regional Nariño

Resumen

Los bioempaques para productos agrícolas son películas delgadas adheribles y comestibles, elaboradas de materias primas alimentarias que buscan no generar un sobre costo en el producto final y cumplir con las propiedades estructurales adecuadas. A partir de esto, el objetivo de la investigación fue estudiar diferentes formulaciones a base de almidón y fibra de papa; B4A (4% almidón) B3A1F (3% almidón – 1% fibra) y B2A2F (2% almidón – 2% fibra), provenientes de residuos agrícolas de la región sur de Nariño y evaluar propiedades estructurales a nano escala, tales como; rigidez, expresada en amplitud de oscilación, topografía y porosidad, mediante un microscopio de fuerza atómica (AFM), adicionalmente se cubrieron fresas con la aplicación de recubrimientos comestibles A1 (recubrimiento formulación B3A1F), A2 (recubrimiento formulación B2A2F), donde se evaluaron parámetros de calidad (pH y °Brix) por un tiempo de 8 días. Durante el estudio se comprobó que los valores de amplitud de oscilación son directamente proporcionales a la cantidad de fibra aplicada en la formulación, con valores $24,67 \pm 0,42c$, $70,70 \pm 0,26ab$ y $95,47 \pm 0,86ab$, para los tratamientos B4A, B3A1F y B2A2F respectivamente, demostrando mayor rigidez en las películas comestibles. En cuanto a los grados Brix y el pH, en los tratamientos A1 y A2, se presentó una evolución progresiva durante todo el almacenamiento; sin embargo, se evidenció diferencias significativas con el tratamiento control sin recubrimiento, el cual presento características negativas.

ABSTRACT

Bio-packaging for agricultural products are edible and adherent thin films, made from food raw materials that seek not to generate an extra cost in the final product and to comply with the appropriate structural properties. Based on this, the objective of the research was to study different formulations based on potato starch and fiber; B4A (4% starch) B3A1F (3% starch - 1% fiber) and B2A2F (2% starch - 2% fiber), from agricultural residues from the southern region of Nariño and evaluate structural properties on a nano scale, such as; stiffness, expressed in amplitude of oscillation, topography and porosity, using an atomic force microscope (AFM), additionally strawberries were covered with the application of edible coatings A1 (coating formulation B3A1F), A2 (coating formulation B2A2F), where parameters were evaluated quality (pH and ° Brix) for a period of 8 days. During the study it was found that the oscillation amplitude values are directly proportional to the amount of fiber applied in the formulation, with values $24.67 \pm 0.42c$, $70.70 \pm 0.26ab$ and $95.47 \pm 0.86ab$, for treatments B4A, B3A1F and B2A2F respectively, showing greater rigidity in edible films. Regarding Brix degrees and pH, in treatments A1 and A2, there was a progressive evolution throughout the storage, however significant differences were observed with the control treatment, at the end of the period, probably associated with the maturation process.

Keywords: Bio-packaging, nano-structural properties, starch, fiber, agricultural residues.

Introducción

Un enfoque reciente de las nuevas tecnología de empaques comestibles y biodegradables implica la producción de láminas que no generen alteraciones al medio ambiente [1], las cuales estén compuestas mediante la combinación de diferentes polisacáridos (almidón, pectina, celulosa y alginato), proteínas y lípidos, con el fin de mejorar su funcionalidad en gran medida [2], donde el uso del almidón se prioriza debido a su abundancia, alta biodegradabilidad, rentabilidad y excelentes capacidades de formación de películas [3-5]; sin embargo, su fuente biológica de obtención puede variar.

Estudios recientes presentados por [2],[6-8], evidencian la variedad de combinaciones para la elaboración de bioempaques basados en almidón; tales como: almidón de papa y pectina de desecho de limón en el Noreste de India, almidón de papa y aceite esencial de tomillo en Estados Unidos, almidón de papa, azúcar invertido y sacarosa en Brasil, almidón-quitosano y aceite de oliva en Indonesia respectivamente, donde los resultados coinciden en que las películas basadas en almidón muestran excelentes propiedades ópticas (transparentes, incoloras), organolépticas (sin sabor, insípidas, inodoros) y de barrera (O_2 y CO_2 permeabilidad).

En Colombia las investigaciones sobre bioempaques para alimentos, en su mayoría se basan en el uso de almidón procedente de yuca, papa y achira, donde se han publicado numerosos estudios sobre la modificación en las formulaciones de bioempaques, con la adición de ingredientes activos como; propóleo de cera de abejas, aceites esenciales, almidón residual esterificado de papa, almidón de papa modificado enzimáticamente con alfa amilasas, entre otros, en pro de mejorar diversas propiedades como las mecánicas, térmicas, y de barrera [9-12]. Sin embargo, su naturaleza higroscópica y su inestabilidad física pueden convertirse en limitantes importantes [10].

Es así como la incorporación de fibra, puede ser una opción pertinente para fortalecer las propiedades mecánicas de las biopelículas, ya que están compuestas por polisacáridos que le brindan rigidez

y flexibilidad que logra mayor resistencia a la tensión [13].

Además, se debe considerar, que el estudio de propiedades estructurales y morfológicas requiere el uso de una técnica microscópica, donde las nuevas herramientas en nanotecnología, tales como microscopia de fuerza atómica (AFM), es uno de los métodos mayormente empleado en la caracterización de películas comestibles [14], obteniendo imágenes que muestran la topografía característica de las muestras en tres dimensiones con alta resolución en tiempo real [15].

En función de los planteados, el cultivo de papa se convierte en una opción, de fuente de abastecimiento tanto de almidón, como de fibra, ya que este es un cultivo se constituye por 80% de agua y un 20% de materia seca, donde entre el 60% y el 80% de esta materia seca es almidón y aproximadamente el 3% es fibra [16], en cuanto a su disponibilidad, en Colombia, según el ministerio de agricultura, la producción de este cultivo para el año 2019, fue de alrededor de 2.782.676 toneladas al año, siendo Nariño el departamento con mayor producción, después de Cundinamarca y Boyacá. De esta producción total, entre el 6% y 8% se industrializan generando residuos.

Por otra parte, las fresas son frutas altamente perecederas, susceptibles a daño mecánico, averías y desórdenes fisiológicos durante su almacenamiento, llegando a un deterioro de hasta en un 80%, en un periodo de 8 horas, razón por lo cual, los recubrimientos comestibles se convierten en una de las alternativas para ampliar el periodo de vida útil, apoyado en procesos amigables con el medio ambiente [17].

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo realizar formulaciones de bioempaques a base de almidón y fibra de papa proveniente de residuos agroindustriales, donde se evaluarán sus propiedades nano estructurales, y finalmente los bioempaques se aplicarán en fresas frescas para evaluar su respuesta en cuanto a las características fisicoquímicas (pérdida de peso, pH y °Brix)

Metodología

Material vegetal

La papa (*Solanum tuberosum*) para obtención de almidón y fibra, fue variedad Diacol Capiro, cultivada en el municipio de Tuquerres Nariño, departamento de Nariño (Colombia), Temperatura promedio 11 °C $\pm$ 1 °C, humedad relativa promedio de 70% y altitud de 4.070 m.s.n.m. Acondicionada y almacenada en ambiente de agroindustria y alimentos de las instalaciones de la Tecnoacademia del Centro Sur Colombiano de Logística Internacional, SENA – Regional Nariño.

Elaboración de recubrimiento comestible

Una vez se obtuvo el almidón y la fibra de papa según la metodología propuesta por [18], se utilizó una solución acuosa que contenía 4 g de sólido (p/p) para formar la película. El sólido contenía almidón y fibra de papa, así B4A (4% almidón – 0% fibra), B3A1F (3% almidón – 1% fibra) y B2A2F (2% almidón – 2% fibra) p/v (gr de almidón o fibra por 100 ml de agua destilada), se usó 0.1% Ácido acético glacial y 25% glicerina p/p (g de glicerina /100 g de mezcla de almidón y fibra seco). El proceso se inició tomando las mezclas de almidón y fibra antes descritas, en 100 ml, agua destilada y se llevó a una temperatura de 75° C, bajo agitación constante (350 rpm) en una plancha de agitación y temperatura, durante 20 minutos, hasta la gelatinización de almidón. Después de transcurrido este tiempo, se adicionó glicerina a la mezcla, previamente disuelto en 15 ml de agua a 35 °C y por último se agrega a la mezcla ácido acético glacial, se agitó durante 15 minutos más, se deja enfriar a temperatura ambiente durante 5 minutos. Finalmente, se tomarán alícuotas de 10 a 12 ml de la solución anteriormente preparada en cajas de Petri y se llevan a un horno a 65 °C, durante 15 minutos [2]. Los bioempaques se almacenan dentro de bolsas con sello hermético en un desecador, para ser llevados a los respectivos análisis.

Evaluación nano estructural de películas comestibles

Para el análisis estructural de las muestras de

bioempaque, se usó un microscopio de fuerza atómica AFM (Naio, VEECO, Liespal, Suiza.), según la metodología propuesta por [1].

Las muestras de empaques se cortarán en trozos de 0,5 * 0,5 cm², colocándolos sobre cinta adhesiva de doble cara, en la platina de nuestra del equipo. Las muestras se escanearon utilizando el modo contacto, con el software Nanosurf (Naio Analysis v3.8.7.4 proporcionado por el proveedor) para todo el procesamiento de imágenes AFM, y se determinaron los parámetros de rugosidad promedio como Ra y Rq de las láminas de bioempaque, amplitud de la oscilación y porosidad de los bioempaques.

Aplicación a fresas de recubrimiento comestible

Se seleccionaron fresas (*fragaria*) variedad albión, cultivadas en Tuquerres Nariño. para este análisis se seleccionaron frutos con 90% de superficie en color rojo, libres de defectos y manchas, considerando un estado de madurez relacionado con el color 5 y 6, basado en la NTC 4103, se realizaron tres réplicas biológicas. Se acondicionó la fruta y se sumergió en el recubrimiento durante 30 s, para la aplicación del bioempaque a las fresas se definió los tratamientos que contenían fibra tales como; (B3A1F) denominado A1 y (B2A2F) A2, donde se tomó un control sin recubrimiento, denominado con AC, a continuación, toda la fruta se secó en una campana extractora a temperatura ambiente hasta que no hubo gotas en la superficie de la fresa. Finalmente, todas las muestras tratadas se almacenaron a 18 °C, HR 75% en bandejas de plástico con protección para insectos Fig. 1.

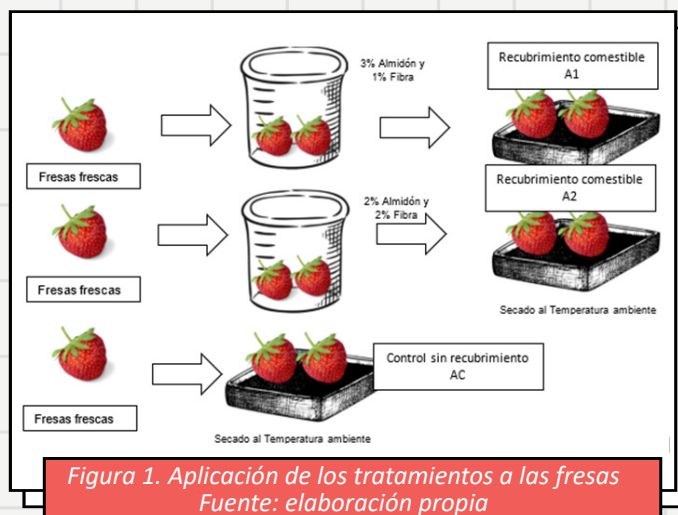


Figura 1. Aplicación de los tratamientos a las fresas
Fuente: elaboración propia

Resultados y Discusión

Obtención películas comestibles

La apariencia de las películas obtenidas con los 3 tratamientos (B4A, B3A1F y B2A2F), fue de una envoltura delgada, semitransparente, fácil para desmoldar, la cual podría ser consumida con facilidad, como se observa en la Fig. 2. Estas características en cuanto su estructura, gracias al uso de polímeros biodegradables, tales como el almidón y la fibra de papa, los cuales se caracterizan por ser compuestos de polisacáridos que forman redes moleculares cohesionadas por una alta interacción entre sus moléculas, lo cual generaron estabilidad [18].

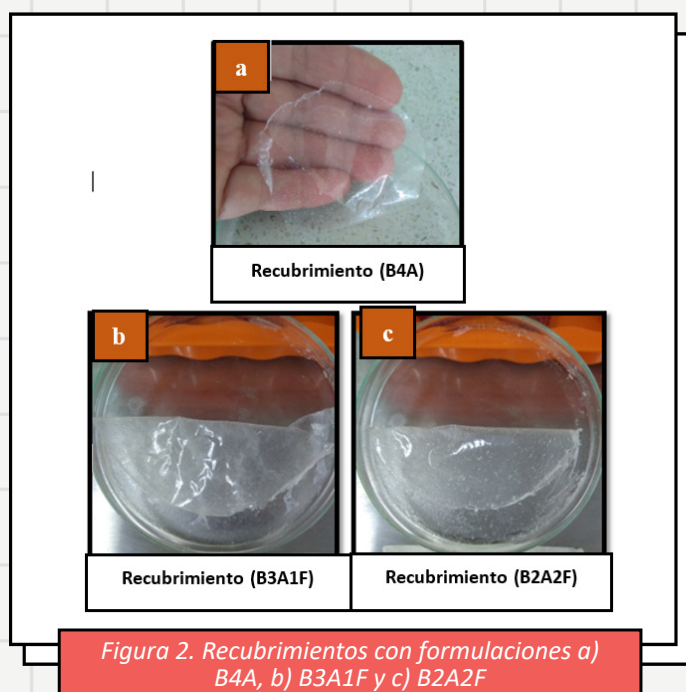


Figura 2. Recubrimientos con formulaciones a) B4A, b) B3A1F y c) B2A2F

Otros estudios recopilados por [22] afirman que las macromoléculas de almidón se encuentran bajo dos formas, una lineal que es la amilosa la más pequeña y otra ramificada que es la amilopectina; donde la amilosa posee características de gelificación y la amilopectina de viscosidad, siendo la papa una de las fuentes que posee gran proporción de amilosa, aportada al bioempaquetaje [19]. También cabe resaltar que la flexibilidad y la adherencia de los bioempaques obtenidos se observa adecuada en términos de apariencia, gracias a la adición de compuestos como glicerina y ácido acético, los cuales ayudaron en la homogeneización de los componentes y actuaron como agentes plastificantes en el bioempaques [20].

En cuanto al color semitransparente del bioempaquetaje,

es de gran utilidad en el mercado de los alimentos fresco y se logró debido a que el almidón es de carácter hidrofílico favoreciendo la retención de agua en su estructura y, por tanto, el paso de la luz [11].

Evaluación nano estructural de película comestible

Se consideró la obtención de imágenes mediante microscopía de fuerza atómica (AFM) para observar cambios microestructurales y también para visualizar la morfología de la película. En el análisis estructural de fuerza atómica (AFM), se pudo observar la influencia de la fibra en las propiedades estructurales en los bioempaques, como se observa en los resultados presentados en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de ANOVA y prueba de tukey para; rugosidad promedio y amplitud de oscilación, en 3 tipos de tratamientos.

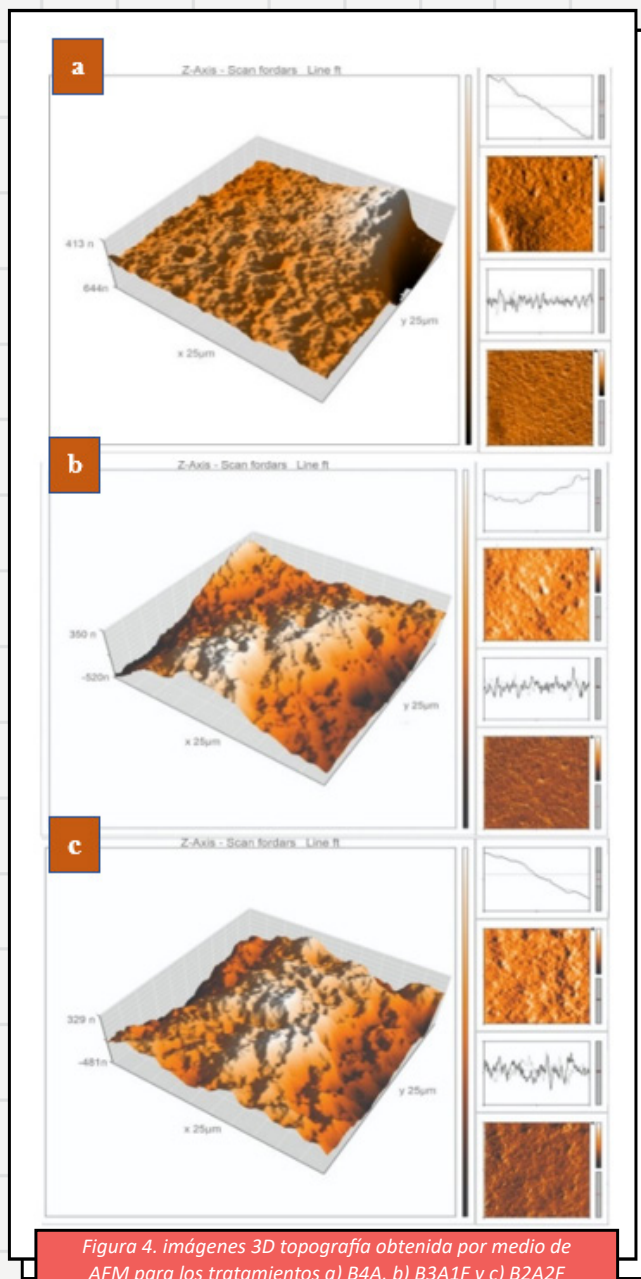
Tipo de tratamiento	Rugosidad promedio (nm)	Amplitud de oscilación (nm)
B4A	224,6 ± 0,56 ^b	24,67 ± 0,42 ^c
B3A1F	53,6 ± 0,58 ^a	70,70 ± 0,26 ^{ab}
B2A2F	53,6 ± 0,57 ^a	95,47 ± 0,86 ^{ab}
ANOVA	***	**

NS, no significativo. *P < 0.05; **P < 0.01; ***P < 0.001. Valores con la misma letra asociada no son significativamente diferentes (Tukey, p ≤ 0,05)

Donde los valores de amplitud de oscilación (nm), son directamente proporcionales a la cantidad de fibra aplicada en la formulación de los bioempaques, con valores 24,67 ± 0,42^c, 70,70 ± 0,26^{ab} y 95,47 ± 0,86^{ab}, para los tratamientos B4A, B3A1F y B2A2F respectivamente, mostrando que el reemplazo del 50% de fibra en la formulación aumenta en aproximadamente el 70% del valor de amplitud de oscilación, lo que demuestra mayor rigidez en los bioempaques. Resultados explicados, debido a que las fibras obtenidas de fuentes vegetales están compuestas por polisacáridos que le brindan la rigidez y la flexibilidad a la pared celular, donde la celulosa es el polímero de mayor relevancia e importancia en dichas características [19].

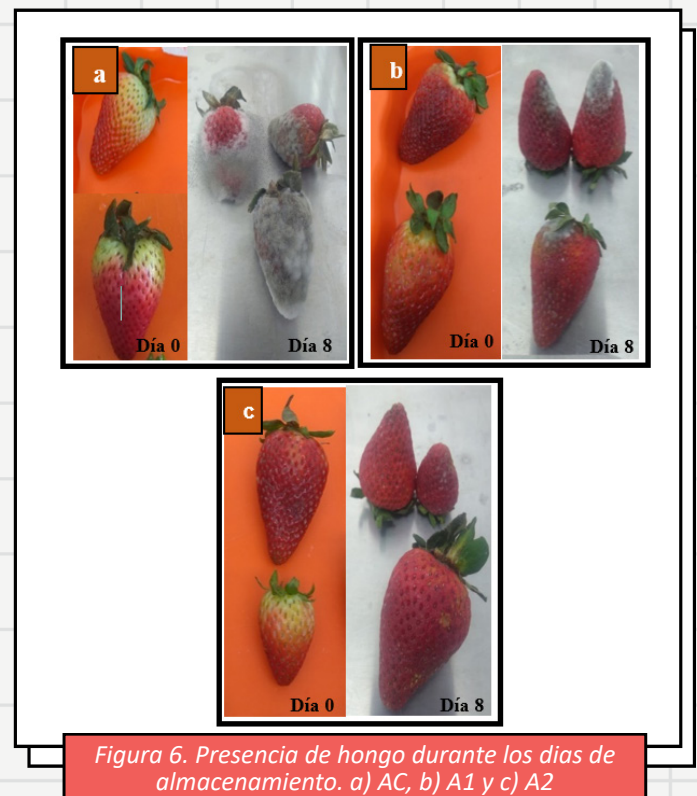
En cuanto a la rugosidad promedio se presentó

diferencias significativas para los bioempaques que contienen o no fibra (Tabla 1), siendo el tratamiento B4A el que presenta un valor mayor, que supera hasta en un 300% los tratamientos B3A1F, B2A2F. Efecto que se hace evidente por la adición de fibra celulósica a los bioempaques, que para la presente investigación se obtuvo con pretratamiento de hidrólisis enzimática, proceso que pudo ocasionar una mejor calidad que se vio reflejada en una lámina con menor rugosidad a comparación de aquella que solo contenían almidón [1]. También se examinó la topografía de la superficie de los bioempaques a partir de las imágenes de altura de 2D y se realizaron imágenes topográficas 3D que permiten visualizar de manera clara el grado de rugosidad. La Figura 4 muestran los resultados obtenidos para los tratamientos a) B4A, b) B3A1F y c) B2A2F.



Aplicación de recubrimientos comestibles en fresas

Las fresas sin aplicación de recubrimiento AC y A1 tuvieron presencia de hongo llamado moho gris, causado por *Botrytis cinerea*, un hongo filamentoso de la familia *Sclerotiniaceae* [30], la colonización ocurrió muy rápidamente desde el día 6 y 7 respectivamente, como se muestra en la figura 6, el tratamiento control (AC) fue absorbida completamente por hongos (Fig. 6a), seguidas por las fresas con tratamiento A1, donde el hongo ya se hace evidente, mientras que el tratamiento A2 (Fig. 6c) no mostró manifestación fúngica en este período, lo que indica que la aplicación de la película correspondiente al tratamiento B2A2F actuó como barrera y redujo los procesos fisiológicos de la fresa, y esto retarda la degradación de los polímeros presentes en la pared celular que se adhieren a los ácidos pépticos evitando el ablandamiento de los tejidos y por ende reduciendo la pérdida de agua que genera presencia de hongo [3]. Además, también se pudo notar que las biopelículas a partir de almidón y fibra de se adhirió perfectamente a la superficie de la fresa, ya que no hubo cambios en su apariencia. Esto representa una característica importante para la aceptación de frutas recubiertas por parte de los consumidores [21].



Análisis Fisicoquímicos

La maduración y los procesos fisiológicos de la fresa inciden en las propiedades fisicoquímicas, presentando diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en los parámetros en cuanto a factores de tiempo y tratamiento. El comportamiento de pH durante el almacenamiento fue similar para los tratamientos A1 y A2; sin embargo, se evidenció diferencias significativas con el tratamiento control (AC), al final del período de almacenamiento, lo cual pudo estar asociado con el proceso de senescencia donde los frutos empiezan a consumir fragmentos de sus ácidos orgánicos como parte de sus procesos metabólicos, como la unión de fragmentos de pectina con polifenoles durante este proceso [3] [23].

El contenido de sólidos solubles totales, representados por el ° Brix, en los frutos de fresa, presentó una evolución progresiva durante todo el almacenamiento, consecuencia atribuida a la evaporación del agua causada por la diferencia de potencial químico del agua (fuerza motriz a la transferencia de masa) entre la fruta y el ambiente [24], además la conversión del almidón presente en la fruta en azúcares, aumenta los SST, como resultado de los cambios fisiológicos durante el almacenamiento [23]. También Yan et al., 2019 en estudios realizados a fresas con biopelículas a base de quitosano indica que el incremento de SST a temperatura ambiente se da por la transformación de ácidos orgánicos en azúcares, dándole un dulzón típico de las frutas maduras.

Los resultados de obtenidos en este estudio son similares a los reportados por [20] [24-25] en fresas con biopelículas a base de almidón de papa china, almidón de plátano guayabo y biopolímero tipo dextrana, con valores de SST finales al cabo de los 8 días de almacenamiento, con valores de $11,60 \pm 0,57$, $10,25 \pm 0,35$ y $9,67 \pm 0,29$ respectivamente.

Conclusiones

En el presente estudio, se obtuvo almidón y celulosa de fibra proveniente de residuos agrícolas de papa, compuestos que demostraron ser adecuados en la incorporación de una película biodegradable, debido a que los estudios de propiedades mecánicas mostraron un aumento de la resistencia, siendo proporcional al porcentaje de fibra celulosa aplicada.

La aplicación de bioempaques con incorporación de residuos de almidón y fibra de papa, incidió positivamente en las propiedades fisicoquímicas como pH y sólidos solubles de las fresas estudiadas, además los frutos que tuvieron aplicación de recubierto que contenía mayor porcentaje de fibra retardo la aparición de hongo, conservando su calidad. Sin embargo, se deben plantear estudios posteriores de análisis microbiológicos, para evaluar el impacto de los recubrimientos en la fruta.

Se puede concluir que los polímeros biodegradables presentes en los residuos agrícolas de papa variedad Capiro, como el almidón y la celulosa de fibra en proporciones iguales, son una alternativa eficaz para la elaboración de películas comestibles con mejores características estructurales y buena respuesta en la aplicación como recubrimiento en fresas, tal como se demostró con la película elaborada con el tratamiento B2A2F y los resultados del recubrimiento A2 para fresas.

Agradecimientos

Al apoyo de las comunidades locales productoras de papa en el suministro constante del material biológico empleado en este estudio. Al financiamiento por Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico (SENNOVA) y el Centro Sur Colombiano de Logística Internacional – Sena, Ipiales.

Referencias

- [1] Feng, Z., Wu, G., Liu, C., Li, D., Jiang, B., & Zhang, X. (2018). Edible coating based on whey protein isolate nanofibrils for antioxidation and inhibition of product browning. *Food Hydrocolloids*, 79, 179–188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.12.028>
- [2] Dash, K. K., Ali, N. A., Das, D., & Mohanta, D. (2019). Thorough evaluation of sweet potato starch and lemon-waste pectin based-edible films with nanotitania inclusions for food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 449–458. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.193>
- [3] Cortés Rodríguez, M., Villegas Yépez, C., Gil González, J. H., & Ortega-Toro, R. (2020). Effect of a multifunctional edible coating based on cassava

starch on the shelf life of Andean blackberry. *Heliyon*, 6(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03974>

[4] Ballesteros-Mártinez, L., Pérez-Cervera, C., & Andrade-Pizarro, R. (2020). Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. *NFS Journal*, 20(April), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.06.002>

[5] Eom, H., Chang, Y., Lee, E. sil, Choi, H. D., & Han, J. (2018). Development of a starch/gum-based edible coating for rice cakes to retard retrogradation during storage. *Lwt*, 97(July), 516–522. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.044>

[6] Alotaibi, S., & Tahergorabi, R. (2018). Development of a sweet potato starch-based coating and its effect on quality attributes of shrimp during refrigerated storage. *LWT - Food Science and Technology*, 88(June 2017), 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.022>

[7] Ferreira Saraiva, L. E., Naponucena, L. de O. M., da Silva Santos, V., Silva, R. P. D., de Souza, C. O., Evelyn Gomes Lima Souza, I., de Oliveira Mamede, M. E., & Druzian, J. I. (2016). Development and application of edible film of active potato starch to extend mini panettone shelf life. *LWT - Food Science and Technology*, 73, 311–319. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.047>

[8] Hasan, M., Rusman, R., Khaldun, I., Ardana, L., Mudatsir, M., & Fansuri, H. (2020). Active edible sugar palm starch-chitosan films carrying extra virgin olive oil: Barrier, thermo-mechanical, antioxidant, and antimicrobial properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 766–775. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.076>

[9] ENRÍQUEZ C., M., VELASCO M., R., & FERNANDEZ Q., A. (2013). Caracterización De Almidones De Yuca Nativos Y Modificados Para La Elaboración De Empaques Biodegradables. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(spe), 21–30.

[10] Achipiz, S., Castillo, A., Mosquera, S., Hoyos, J., & Navia, D. (2013). Efecto De Recubrimiento A Base De Almidón Sobre La Maduración De La Guayaba (*Psidium guajava*). *Biotecnología En El Sector*

Agropecuaria y Agroindustrial, 11(spe), 92–100.

[11] Niño Otálora, L. J., García Torres, A. M., Medina Vargas, O. J., & Rojas Morales, C. I. (2018). Biopelículas fotoactivas: material de empaque en alimentos sensibles a la oxidación. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 457–466. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1080>

[12] Pérez-Vergara, L. D., Cifuentes, M. T., Franco, A. P., Pérez-Cervera, C. E., & Andrade-Pizarro, R. D. (2020). Development and characterization of edible films based on native cassava starch, beeswax, and propolis. *NFS Journal*, 21(July), 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.09.002>

[13] Luna, G., & Velasco, R. (2009). Almidón Termoplástico De Yuca Reforzado Con Fibra De Fique: Preliminares Fique'S Fiber Reinforced Thermoplastic Starch of Cassava: Preliminary Héctor Villada. *Año*, 76(August), 145–151.

[14] Ramesh, S., & Radhakrishnan, P. (2019). Cellulose nanoparticles from agro-industrial waste for the development of active packaging. *Applied Surface Science*, 484(December 2018), 1274–1281. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.04.003>

[15] Domene-López, D., Delgado-Marín, J. J., Martin-Gullon, I., García-Quesada, J. C., & Montalbán, M. G. (2019). Comparative study on properties of starch films obtained from potato, corn and wheat using 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate as plasticizer. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 845–854. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.004>

[16] Soykeabkaew, N., Thanomsilp, C., & Suwantong, O. (2015). A review: Starch-based composite foams. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 78, 246–263. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.014>

[17] Mora Palma , R. M., Feregrino Pérez , A. A., & Contreras Padilla , M. (2021). Recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(4), 4605–4625. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i4.644

[18] Acosta, J., Gomajoa, H., Benavides, Y., Charfuelan,

A., & Valenzuela, F. (2018). Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico. *Bionatura*, 01(Bionatura Conference Serie). <https://doi.org/10.21931/rb/cs/2018.01.01.2>

[19] Angelica Paola Osorio Herrera y Karen Dayana Rubiano Hernandez. (2019). Desarrollo de una bioepicula partiendo de casaca de banano y fibra natural como agente de refuerzo a nivel laboratorio. FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA FACULTAD DE INGENIERÍAS PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA BOGOTÁ D.C.

[20] Moncayo Martinez, D. C. (2013). Desarrollo de un recubrimiento comestible a partir de un biopolimero para prolongar la vida útil de frutas frescas. Universidad Nacional de Colombia Programa Interfacultades, Maestría En Ciencia y Tecnología Alimentos, 76.

[21] Pavinatto, A., de Almeida Mattos, A. V., Malpass, A. C. G., Okura, M. H., Balogh, D. T., & Sanfelice, R. C. (2020). Coating with chitosan-based edible films for mechanical/biological protection of strawberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 1004–1011. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.076>

[22] Abdul Khalil, H. P. S., Davoudpour, Y., Saurabh, C. K., Hossain, M. S., Adnan, A. S., Dungani, R., Paridah, M. T., Mohamed, Z. I. S., Fazita, M. R. N., Syakir, M. I., & Haafiz, M. K. M. (2016). A review on nanocellulosic fibres as new material for sustainable packaging: Process and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 823–836. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.072>

[23] Figueroa, J. A., & Salcedo, J. G. (2013). Effect of Edible Coatings Based on Native and Oxidized Cassava Starch on Quality of Mango (Tommy Atkins). *Temas Agrarios*, 18(2), 94–105.

[24] Oñate, L. E. Z. (2018). Desarrollo de un recubrimiento comestible para fresa (*Fragaria x ananassa* Duchesne) en base a almidón de papa china. 1–72. [http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1918/1/BQ 29.pdf](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1918/1/BQ%2029.pdf)

[25] García, O., & Pinzón, M. (2016). Efecto De Recubrimientos De Almidón De Plátano Guayabo

(*Musa Paradisiaca* L.) En La Calidad De Fresas. 24(39), 92–102.

[26] Fernandez Gamboa, A. A. (2019). Identificación de nuevas tecnologías de empaques biodegradables en la industria de alimentos con mayor potencial de desarrollo en Colombia. *Fundación Universidad de América*, February, 1–9. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/20.500.11839/7252>

[27] Guamushig Tarco Mayra Alexandra. (2017). Evaluación del efecto de un recubrimiento con quitosano sobre la calidad postcosecha de la mora de Castilla (*Rubus glaucus* Benth) (UNIVERSIDA).

[28] ICONTEC. (1997). Noma Técnica Colombia NTC 4103. Frutas frescas. Fresa variedad Chandler. Especificaciones. Bogotá, D.C.

[29] Maver, U., Velnar, T., Gaberšček, M., Planinšek, O., & Finšgar, M. (2016). Recent progressive use of atomic force microscopy in biomedical applications. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 80, 96–111. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.03.014>

[30] RESTREPO F, J. I., & ARISTIZÁBAL T, I. D. (2010). Conservación de Fresa (*Fragaria x ananassa* Duch cv. Camarosa)) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y cera de carnaúba. *Vitae* (Medellín), 17(3), 252–263.

[31] Woźniak, M. J., Ryszkowska, J., Szymborski, T., Chen, G., Tateishi, T., & Kurzydłowski, K. J. (2008). Application of phase imaging and force modulation mode for description of dispersion of carbon nanotubes in polyol matrix. *Materials Science-Poland*, 26(1), 245–253.

[32] Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., Aghdam, M. S., & Li, L. (2019). The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147(May 2018), 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.002>

[33] AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. 16th Ed., Association of Official Analytical Chemists. Virginia, ISBN 0-935584-54-4.