

Efecto de un empaque biodegradable en las propiedades fisicoquímicas en poscosecha de la manzana cultivar 'Anna'

Effect of a biodegradable packaging on the postharvest physicochemical properties of the apple variety 'Anna'

Diana Alejandra Posada-Muñoz^{1*}; Lucimar Forero-Mancipe²; Yuli Alexandra Deaquiz-Oyola³

¹Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: diana.posada@uptc.edu.co

²Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigación Competitividad Innovación y Desarrollo Empresarial CIDE, Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: lucimar.forero@uptc.edu.co

³Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Grupo de investigaciones Agrícolas, GIA, Tunja - Boyacá, Colombia; e-mail: yuli.deaquiz@uptc.edu.co

*autor de correspondencia: diana.posada@uptc.edu.co

Cómo citar: Posada-Muñoz, D.A.; Forero-Mancipe, L.; Deaquiz-Oyola, Y.A. 2025. Efecto de un empaque biodegradable en las propiedades fisicoquímicas en poscosecha de la manzana cultivar 'Anna'. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 28(2):e2507. <http://doi.org/10.31910/rudca.v28.n2.2025.2507>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada en Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional

Recibido: julio 4 de 2023

Aceptado: julio 25 de 2025

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

La vida poscosecha de los frutos de manzana, según la variedad, es un factor crucial en el mercado, ya que influye significativamente en su valor comercial y en la satisfacción del consumidor final. Por ello, resulta fundamental evaluar alternativas eficientes, que permitan prolongar la conservación de estos frutos, mantener sus propiedades organolépticas y evitar su descomposición prematura, durante el periodo de almacenamiento. Una tecnología viable es el uso de atmósferas modificadas, que ayudan a minimizar el deterioro de los frutos; sin embargo, muchos de los envases utilizados, como el polietileno, representan un problema, debido a los residuos que generan. En este estudio se evaluaron dos tipos de empaques: uno convencional de polietileno y otro elaborado con material biodegradable a base de maíz, además de un grupo control sin modificación de atmósfera. Se realizaron mediciones de variables como pérdida de masa, color, firmeza, acidez total titulable, sólidos solubles totales, relación de madurez y tasa respiratoria. Los resultados mostraron que, tras 21 días de almacenamiento, ambos empaques evaluados presentaron menor pérdida de masa y firmeza, lo que permitió conservar las características organolépticas de las manzanas y prolongar su vida útil, con relación al testigo. Estos hallazgos sugieren que el uso de empaques biodegradables puede ser una alternativa eficiente para la conservación de frutos, con un impacto positivo, tanto en el valor comercial de los frutos como en el medio ambiente y la satisfacción del consumidor final.

Palabras clave: Envasado en atmósfera controlada; Envase biodegradable; Envase en polietileno; Envases sostenibles para alimentos; *Malus domestica*.

ABSTRACT

The post-harvest life of apples, depending on the variety, is a crucial factor in marketing, as it significantly impacts their commercial value and final consumer satisfaction. Therefore, it is essential to evaluate efficient alternatives that allow for the prolonged preservation of these fruits, maintain their organoleptic properties, and prevent premature decomposition during storage. A viable technology is the use of modified atmospheres, which minimize fruit deterioration; however, many of the packaging materials used, such as polyethylene, become problematic due to the waste they generate. In this study, two types of packaging were evaluated a conventional polyethylene package and a biodegradable material based on corn starch, in addition to a control without atmosphere modification. Variables such as weight loss, color, firmness, titratable acidity, total soluble solids, maturity index, and respiration rate were measured. The results showed that after 21 days of storage, both evaluated packages exhibited the lowest weight and firmness loss, helping to preserve the organoleptic characteristics of the apples and extending their shelf life compared to the control. These findings suggest that biodegradable packaging could be an efficient alternative to conventional options for fruit preservation, potentially having a positive impact on fruit commercial value, environmental sustainability, and consumer satisfaction.

Keywords: Biodegradable packaging; *Malus domestica*; Modified atmosphere packaging; Polyethylene packaging; Sustainable food packaging.

INTRODUCCIÓN

La manzana *Malus domestica* (Suckow) Borkh es una de las especies caducifolias de mayor distribución en el mundo, debido, en gran parte, a su alto valor nutricional (Pérez Fagua *et al.* 2024). Se reconoce como el cuarto producto hortícola de mayor importancia nutricional para las personas en el mundo (Corona Leo *et al.* 2020).

Según datos presentados en 2018 por World Apple Review, entre 2012 y 2018, el cultivo de manzana representó el 12,26 % de la producción mundial de frutas, siendo superado por el cultivo de plátano y cítricos (Chen *et al.* 2020). De acuerdo con información de la FAO, en 2021, China fue el país con mayor producción de este fruto, con el 49,37 % del total, seguido por Turquía, con el 4,82 % y Estados Unidos, con el 4,80 % (Arnold & Gramza-Michalowska, 2023).

En Colombia, el departamento de Boyacá, con aproximadamente 3.000 hectáreas plantadas, es el principal productor de caducifolias (Amaya Martín & Deaquiz Oyola, 2023). En el caso de la manzana, el cultivar 'Anna' es el más cultivado, especialmente, en los municipios de Tibaná, Duitama y Nuevo Colón (Gutiérrez-Villamil *et al.* 2022).

La manzana es un fruto climatérico en el que el etileno desempeña un papel clave en la regulación de los cambios en el sabor, aroma, color y ablandamiento, factores que determinan su calidad final y conservación. Durante el manejo poscosecha y el almacenamiento, los frutos pueden sufrir afectaciones que generan pérdidas económicas, estimadas entre el 20 y el 50 % (Martínez-González *et al.* 2017; Ponce-García *et al.* 2020). Este deterioro se manifiesta mediante la aparición de manchas o pardeamientos, arrugamientos en la piel o la pulpa, cambios en la textura, así como ennegrecimientos o agrietamientos (Cantín *et al.* 2022). Se han identificado más de 400 compuestos volátiles que intervienen en los procesos responsables de los cambios físicos, metabólicos y bioquímicos del fruto, de los cuales, entre 20 y 40 tienen un impacto directo en su calidad.

La concentración de estos compuestos varía según la variedad, las condiciones durante la etapa de cultivo, la cosecha y el tipo de almacenamiento (Estrada Beltrán *et al.* 2021).

Con el objetivo de satisfacer las demandas del mercado, los frutos de manzana, en algunas ocasiones, deben ser refrigerados y almacenados durante distintos periodos. Esta situación impulsa la implementación de estrategias que permitan conservar su calidad (Cepeda Castañeda *et al.* 2014).

La mayoría de los procesos empleados para reducir la biosíntesis de etileno están relacionados con la regulación de la temperatura y la modificación de la atmósfera, en la que se almacenan los frutos (Martínez-González *et al.* 2017). El uso de atmósferas modificadas en los procesos de poscosecha permite extender la vida útil de los frutos, al preservar su calidad, mediante la reducción de la tasa respiratoria (Giraldo, 2006; Chaidez Gastélum *et al.* 2024).

Esta tecnología consiste en modificar la composición gaseosa que rodea al fruto, con el fin de ralentizar su metabolismo y retrasar el deterioro (Ospina Meneses & Cartagena Valenzuela, 2008). Al regular el intercambio gaseoso, se logra reducir los niveles de oxígeno (O₂) y aumentar los niveles de dióxido de carbono (CO₂), generando condiciones que favorecen la conservación del producto (Echeverría Cortada & Larrigaudière, 2023).

El proceso de envasado en atmósferas modificadas se puede aplicar a diversos tipos de alimentos de bajo procesamiento, como verduras frescas, pescado, carnes, productos de confitería, pan y derivados lácteos (Santos & Oliveira, 2012). La alteración de las condiciones del aire dentro del empaque está determinada por la interacción de tres procesos: la respiración del producto, el paso de gases a través del producto y la capacidad de la película para permitir el intercambio gaseoso (Santos Mantilla *et al.* 2010).

En este tipo de empaques, la concentración de gases depende del material con el que han sido elaborados, del fruto y de la temperatura de almacenamiento (Andrade *et al.* 2012). Estudios, como el de Pérez *et al.* (2012) han demostrado que los frutos de manzana se pueden almacenar hasta por cuatro meses en atmósferas controladas, manteniendo sus propiedades físicas y organolépticas.

En la producción de envases, los polímeros sintéticos son los más utilizados para la conservación de alimentos (Villada *et al.* 2007); sin embargo, estos plásticos están generando serios problemas ambientales, principalmente, por su acumulación en los vertederos, siendo el sector alimentario uno de los principales responsables (Navia & Villada, 2013). En Colombia, la fabricación de envases y empaques para la industria alimenticia, junto con otros productos, representa el 54 % de la producción total de plásticos (Mantilla Cabrera *et al.* 2023).

Algunas empresas han modificado sus métodos de empaquetado y envasado en respuesta a las nuevas preferencias de los consumidores, quienes buscan productos y procesos que no generen impactos negativos en el medio ambiente, en procura, además, de proteger los productos de posibles daños y extender su durabilidad (Rivera *et al.* 2019).

Con el objetivo de atender la demanda relacionada con la sostenibilidad y la seguridad ambiental, se están desarrollando investigaciones enfocadas en la creación de materiales de envasado de alimentos que se puedan degradar completamente en el ambiente (Melchor Cardona & Romero Yesquen, 2024). Entre las alternativas de empaques biodegradables o de mínimo impacto ambiental para el almacenamiento de frutos, uno de los más abundantes es el elaborado a partir de almidón extraído de fuentes, como arroz o maíz. También es posible obtenerlo de raíces, de vegetales y de otros frutos (Muñoz-Gimena *et al.* 2023).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del uso de un empaque biodegradable sobre las propiedades fisicoquímicas en poscosecha de la manzana *Malus domestica* (Suckow) Borkh, variedad 'Anna'.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el ensayo se utilizaron frutos de manzana del cultivar 'Anna' en estado de madurez fisiológica, que coincide con el estadio tres de madurez (50 % verde, 50 % rojo), con tamaño y color homogéneos, libres de daños mecánicos, conforme a la Norma Técnica Colombiana 3523-1 (ICONTEC, 1996). Los frutos fueron cosechados en un huerto de caducifolios con árboles de seis años de producción, ubicado en Ramiriquí, Boyacá, en las coordenadas N 85°15', O 73°16', a una altitud de 2.325 m s.n.m. Las condiciones ambientales del lugar presentan una temperatura promedio de 13 °C y una precipitación media de 4 mm/día. Posteriormente, los frutos fueron transportados al laboratorio de Fisiología Vegetal de la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, sede Tunja, donde se llevó a cabo el experimento.

Se empleó un diseño experimental completamente al azar con tres tratamientos, correspondientes a la modificación de la atmósfera, mediante el uso de envases convencional de PET (tereftalato de polietileno) y biodegradable, elaborado a partir de almidón de maíz y un testigo sin modificación de la atmósfera. Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, con doce unidades experimentales, equivalentes a un fruto de manzana cada una, para un total de 48 frutos.

Las variables medidas fueron pérdida de masa, el índice de color, firmeza, sólidos solubles totales y acidez total titulable a los 7, 14 y 21 días después de la cosecha.

Pérdida de masa (%): Se pesó el fruto en una balanza electrónica marca ADAM modelo PGW2502E, con una aproximación de 0,001 g y se empleó la ecuación 1.

$$PP [\%] = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) * 100 \quad \text{ecuación 1}$$

En donde P_i : corresponde al peso inicial del fruto y P_f : corresponde al peso obtenido por fecha de muestreo.

Índice de color: Mediante el uso del colorímetro digital Minolta CR300 (Konica Minolta Co., Japón), se determinaron los componentes de color, tomando mediciones en tres puntos centrales alrededor del diámetro de los frutos y se calculó el índice, empleando la ecuación 2.

$$IC = \frac{1000 * a^*}{L^* * b^*} \quad \text{ecuación 2}$$

En donde: a^* : cromaticidad de verde a rojo, b^* : cromaticidad de azul a amarillo y L^* : luminosidad.

Firmeza del fruto (N): La medición de la firmeza se realizó en cada unidad experimental, siguiendo la línea ecuatorial del fruto, mediante el uso de un penetrómetro digital modelo PCE-PTR200.

Sólidos solubles totales (SST): Se realizó la medición a través de °Brix, con un refractómetro digital (Hanna, Woonsocket, RI), de

rango 0 a 85 % con precisión 0,1 °Brix.

Acidez total titulable (ATT): Se determinó mediante cálculos con datos del volumen de hidróxido de sodio (NaOH), incorporado en 5 g de jugo de frutos más 50 ml de agua destilada y agregando 3 gotas de fenolftaleína, como indicador del cambio de color. Los datos obtenidos fueron aplicados en la ecuación 3:

$$Acidez [\%] = A * B * C * \frac{100}{D} \quad \text{ecuación 3}$$

En donde:

A = volumen de NaOH gastado

B = Normalidad del NaOH (0,1 N)

C = Peso equivalente, expresado en gramos de ácido predominante en el fruto (ácido málico 0,067 g meq⁻¹)

D = Peso en gramos de la muestra utilizada (5g).

Relación de madurez: Se halló mediante la relación entre los SST y la ATT.

Tasa de Respiración: (mg CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹) se determinó siguiendo la metodología usada por Hernández Gómez *et al.* (2007).

Los datos obtenidos fueron sometidos a pruebas de normalidad y homogeneidad, mediante los métodos de Shapiro-Wilk y Bartlett, respectivamente. Una vez comprobados los supuestos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA). Las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas fueron sometidas a pruebas de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$). Todos los análisis se llevaron a cabo utilizando el software R, versión 4.2.2, (interfase de RStudio).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Porcentaje de pérdida de masa: Los frutos del tratamiento control, sin atmósfera modificada, presentaron la mayor pérdida de masa durante los primeros días del estudio, alcanzando un 9 % para el día 15. En contraste, los frutos almacenados en envases de PET y biodegradables se mantuvieron por debajo del 4 % (Figura 1).

Se observa una mayor pérdida de peso en los frutos almacenados en el empaque biodegradable hacia el día 21, atribuida, principalmente, a la pérdida de humedad, lo cual, genera una disminución en la turgencia, mayor transpiración y aumento de tasa respiratoria (Kumar & Sethi, 2021). El uso de atmósferas modificadas, como el PET o envases biodegradables, interfiere en la actividad enzimática relacionada con la pared celular, debido al bloqueo en la síntesis de etileno y la reducción de las actividades metabólicas. Asimismo, la pérdida de masa es una consecuencia del contenido de humedad que se transfiere a través de las microperforaciones presentes en los envases. En este sentido, el envase de PET logra una mayor retención de vapor de agua al actuar como una barrera

que mantiene elevados los niveles de humedad (Park *et al.* 2020). La permeabilidad de los empaques biodegradables podría estar directamente relacionada con la pérdida de peso (Bof *et al.* 2021). Además, cuanto menor sea el déficit de presión de vapor de agua, menor será la pérdida de peso (Pachón *et al.* 2006) y a menor tasa respiratoria, se libera una menor cantidad de agua (Téllez *et al.* 2007).

Índice de color. Durante los primeros siete días de evaluación, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$). Este índice se define a través de un modelo de colores

opuestos con coordenadas L^* (0 a 100), a^* (“+60” [intensidad de color rojo] y “-60” [de color verde]) y b^* (“+60” [intensidad de color amarillo] y “-60” [de color azul]) (Park *et al.* 2020; Bof *et al.* 2021) (Tabla 1); sin embargo, a partir del día 12, se detectaron diferencias significativas entre el tratamiento con empaque biodegradable, el control y el tratamiento con empaque PET (Figura 2). Estos resultados sugieren que el empaque biodegradable puede tener un impacto positivo en la conservación del color del fruto después de cierto tiempo.

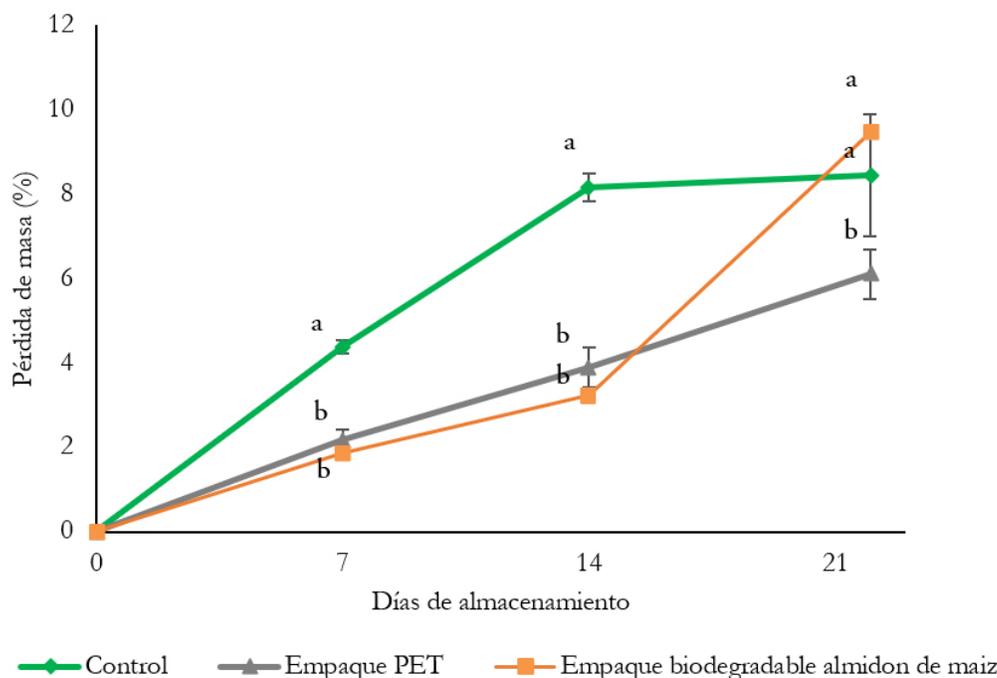


Figura 1. Porcentaje pérdida de masa frutos de manzana cultivar Anna, bajo el efecto de atmósferas modificadas. Los valores corresponden al promedio ($n=4$). Las barras verticales indican el error estándar. Letras iguales: no existen diferencias significativas, letras diferentes: existen diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey, $p < 0,05$.

Tabla 1. Modelo de colores opuestos con coordenadas L^* (0 a 100), a^* (“+60” [intensidad de color rojo] y “-60” [de color verde]) y b^* (“+60” [intensidad de color amarillo] y “-60” [de color azul]) de manzana cultivar Anna evaluadas durante 22 días.

Coordenada	Tratamiento	0 días	7 días	14 días	22 días
a	Testigo	0,15 ± 0,7 a	14,33 ± 1,8 b	16,50 ± 1,4 b	18,30 ± 0,3 b
	Empaque PET	-0,48 ± 0,9 a	15,80 ± 1,1 b	17,85 ± 0,2 b	14,65 ± 0,7 b
	Biodegradable	-5,18 ± 1,0 a	-1,22 ± 0,3 a	2,24 ± 0,5 a	3,28 ± 0,2 a
b	Testigo	41,75 ± 1,5 a	37,58 ± 2,8 ab	36,75 ± 2,6 ab	34,80 ± 2,4 a
	Empaque PET	41,18 ± 1,2 a	30,85 ± 1,9 a	29,63 ± 0,4 a	34,13 ± 0,6 a
	Biodegradable	41,98 ± 1,3 a	47,41 ± 0,3 b	47,59 ± 0,2 b	47,16 ± 0,6 b
L	Testigo	68,23 ± 0,9 a	59,55 ± 2,5 ab	57,60 ± 2,6 a	53,47 ± 2,4 a
	Empaque PET	65,73 ± 1,5 a	53,73 ± 2,4 a	53,28 ± 1,2 a	55,85 ± 0,9 a
	Biodegradable	74,80 ± 1,7 a	71,94 ± 0,7 b	72,23 ± 0,6 b	68,86 ± 1,1 b

Letras iguales: no existen diferencias significativas, letras diferentes: existen diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey, $p < 0,05$.

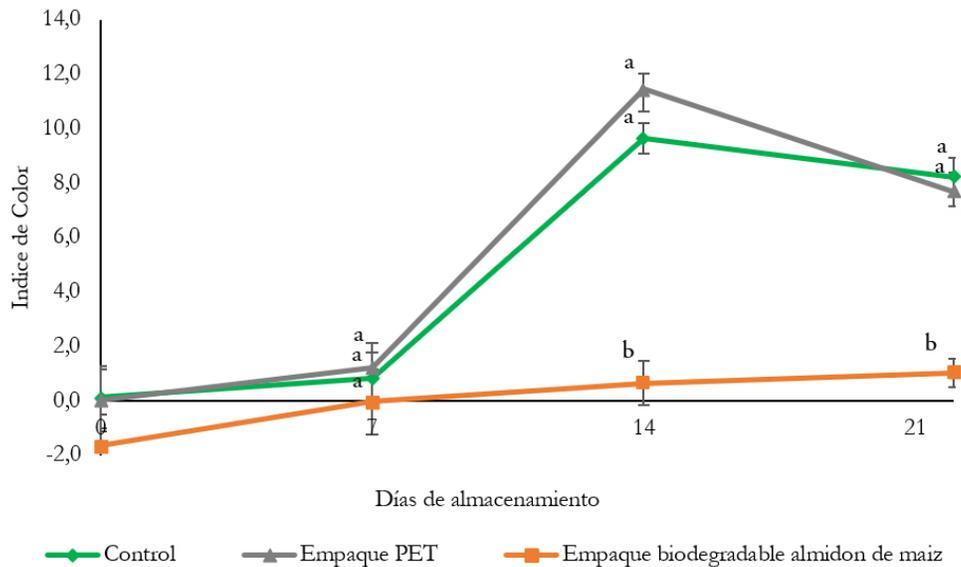


Figura 2. Índice de color de frutos de manzana cultivar Anna, bajo el efecto de atmósferas modificadas. Los valores corresponden al promedio (n=4). Las barras verticales indican el error estándar. Letras iguales: no existen diferencias significativas, letras diferentes: existen diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey, $p < 0,05$.

El empaque biodegradable de almidón de maíz presentó el índice de color más bajo y constante, lo que indica que las manzanas conservaron su color verde original durante más tiempo. En contraste, los demás tratamientos mostraron un cambio hacia tonalidades más rojizas, lo cual, evidencia un mayor grado de maduración. Este resultado coincide con lo reportado por Park *et al.* (2020), quienes afirman que las frutas envasadas mantienen una mejor calidad de color en comparación con aquellas almacenadas al aire libre, debido a su exposición a la luminosidad. Además, los tratamientos con atmósferas modificadas reducen la tasa de respiración de la fruta, lo que, a su vez, disminuye la producción de etileno y de polifenoloxidasas, enzima responsable de la oxidación de los compuestos fenólicos y del oscurecimiento del fruto (Kumar & Sethi, 2021).

En el caso del uso de empaques de PET transparente, la luz puede penetrar en el envase y alcanzar el fruto, lo que incrementa la actividad fotosintética y la respiración en las células. Este proceso, a su vez, eleva la producción de etileno, lo que acelera la maduración y senescencia del fruto, lo que se traduce en un aumento del índice de color. Por el contrario, el empaque biodegradable elaborado con almidón de maíz es opaco, lo que impide el paso de la luz al interior del envase, reduciendo la actividad fotosintética y la respiración (Bof *et al.* 2021).

Firmeza. En la figura 3 se observa una pérdida no significativa de 17N, en el caso del empaque de PET y de 19N, en el caso del control; sin embargo, las manzanas almacenadas en el empaque biodegradable de almidón de maíz presentaron una pérdida de 21N, relacionada con las variaciones en las proporciones de gases, provocadas por los cambios de temperatura y humedad generados por el empaque. Cuando el fruto incrementa su tasa respiratoria o pierde turgencia celular, promueve la degradación de sustancias pépticas y hemicelulosas en la pared celular, lo que contribuye al ablandamiento de la fruta (Bof *et al.* 2021). Además, durante el proceso de maduración, el almidón presente se hidroliza en azúcares más simples, lo que también puede influir en la pérdida general

de firmeza. Estos resultados coinciden con lo reportado por Zhao *et al.* (2023) en tomates cherry, tratados con atmósferas modificadas, donde la firmeza fue significativamente mayor en comparación con las muestras de control.

Sólidos solubles totales (STT). Los tratamientos con atmósferas modificadas no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0,05$) respecto al grupo control en los momentos evaluados (Tabla 2). En el séptimo día, se observa que el grupo control y el empaque de PET presentan valores similares de °Brix, lo que indica un proceso de maduración en todos los grupos, evidenciado por el aumento en el contenido de azúcares. Para el día 14, todos los grupos muestran una disminución en los valores de °Brix, lo cual, podría señalar un punto de inflexión en la maduración de las frutas, en el que la tasa de producción de azúcares se reduce en comparación con los días anteriores. A medida que la fruta continúa madurando, la producción de azúcares disminuye, mientras que procesos, como la respiración celular y la degradación de los tejidos continúan (Kumar & Sethi, 2021). En particular, el grupo tratado con PET presentó la disminución más pronunciada y significativa, alcanzando solo 8 °Brix, mientras que el grupo tratado con el material biodegradable de almidón de maíz registró un valor de 10 °Brix.

Durante la maduración de la fruta, se produce la conversión del almidón en azúcares, lo que incrementa los sólidos solubles totales (°Brix). En este contexto, el proceso de maduración se ralentizó, principalmente, en el empaque de PET, debido a su baja permeabilidad al CO_2 . Esta característica genera un ambiente con bajo contenido de oxígeno, lo que inhibe el proceso de obtención de energía en la manzana (Paulsen *et al.* 2019; Melaku, 2022). Por el contrario, el empaque biodegradable presentó valores de °Brix similares al grupo control, lo que sugiere una mayor permeabilidad e intercambio gaseoso, lo cual, permitió que la fruta pudiera continuar con el proceso de obtención de energía y aumentar los azúcares.

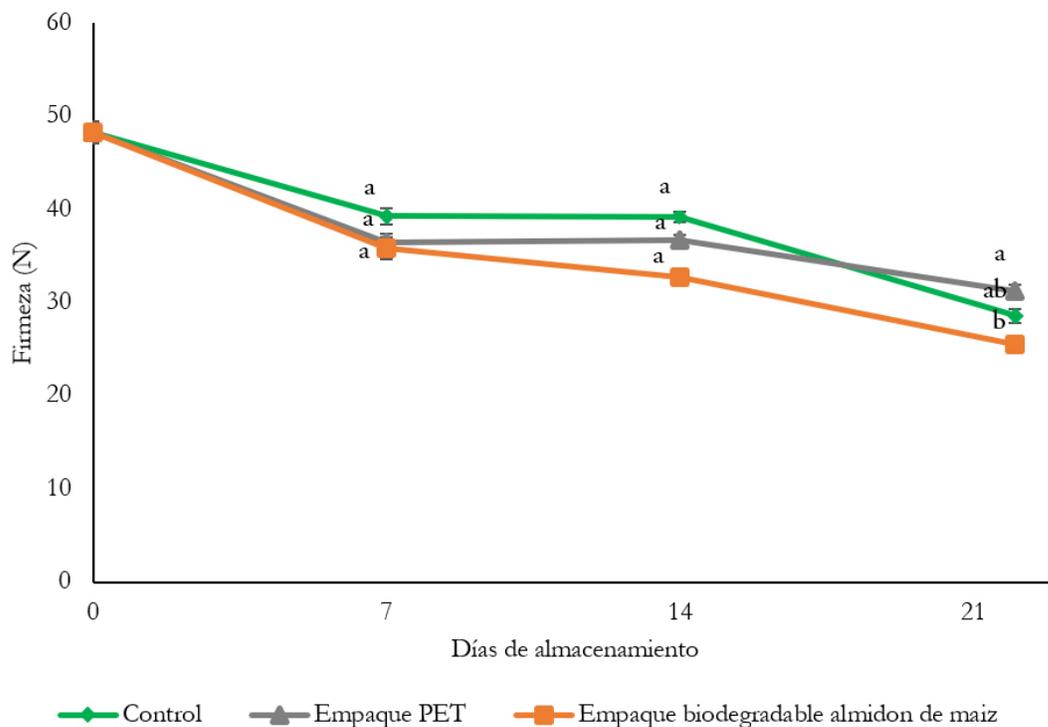


Figura 3. Firmeza (N) de frutos de manzana cultivar Anna, bajo el efecto de atmósferas modificadas. Los valores corresponden al promedio (n=4). Las barras verticales indican el error estándar. Letras iguales: no existen diferencias significativas, letras diferentes: existen diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey, $p < 0,05$.

Acidez total titulable (ATT). En el séptimo día se observó una disminución significativa en la acidez total titulable en todos los grupos, con valores cercanos al 0,25 % (Tabla 2). Este descenso indica que la fruta está en proceso de maduración, lo que concuerda con lo señalado por De La Vega *et al.* (2017), quienes afirman que la ATT se ve menos afectada bajo condiciones de atmósfera modificada, debido al menor consumo de ácidos orgánicos, como fuente de energía durante la respiración. Esta reducción se podría atribuir a una disminución en la tasa de respiración de las manzanas, lo que conlleva una menor producción de ácido. Entre los días 7 y 22, los valores de ATT se mantuvieron bajos, lo que sugiere que las manzanas alcanzaron su punto máximo de madurez y, en consecuencia, la cantidad de ácido en la fruta disminuyó.

Relación de madurez (RM). No se reportaron diferencias estadísticas significativas en la relación de madurez entre los distintos tipos de empaques evaluados en la investigación; sin embargo, para el día 14 se observó una disminución de la RM en el empaque de PET y en el grupo control, mientras que el empaque biodegradable de almidón de maíz mostró un aumento. Este comportamiento sugiere un predominio de azúcares sobre ácidos, lo que indica que el proceso de maduración conlleva una disminución de la acidez y un aumento en los SST (Tabla 2). Para el día 22, no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los grupos ($p > 0,05$).

Los principales beneficios de las atmósferas modificadas incluyen el retardo en la maduración y el envejecimiento, la reducción de la sensibilidad al etileno, la mitigación de daños por frío y el control

de ciertos microorganismos fitopatógenos, debido a la disminución de los niveles de O_2 (Park *et al.* 2020; Kumar & Sethi, 2021).

Tasa respiratoria. Durante los primeros siete días se observó un incremento en la producción de CO_2 y luego disminuyó hasta alcanzar las características ideales para el consumo (Tabla 2). Posteriormente, a partir del día 14, se produjo un aumento en la tasa respiratoria, que coincide con el punto de madurez óptimo de los frutos; sin embargo, la tecnología de atmósferas modificadas disminuye la tasa de respiración y retardar el proceso de descomposición, lo que permite preservar la calidad de los frutos durante un período prolongado (De La Vega *et al.* 2017; Park *et al.* 2020).

Los resultados indican que el uso de atmósferas modificadas reduce la tasa de respiración y la producción de etileno, lo que contribuye a prolongar la vida útil de las manzanas. Asimismo, el empaque de polietileno mostró una mayor retención de vapor de agua, lo que permitió mantener elevados niveles de humedad y conservar las características organolépticas del fruto.

Por otro lado, la alta permeabilidad de los empaques biodegradables y su baja capacidad para retener humedad podrían estar directamente relacionadas con la pérdida de peso. Además, se evidenció que la exposición a la luminosidad aumenta la actividad fotosintética y la respiración celular, lo que acelera la maduración y senescencia de la fruta; sin embargo, el empaque biodegradable opaco impide la penetración de luz, lo que reduce la actividad fotosintética y

Tabla 2. Características químicas de manzana cultivar Anna evaluadas durante 22 días en diferentes tipos de empaque. SST: sólidos solubles totales, ATT: acidez total titulable, RM: relación de madurez y TS: tasa respiratoria.

Variable	TTO	0 días	7 días	14 días	22 días
SST	Testigo	10,2 ± 0,3* a	14,6 ± 0,2 a	12,8 ± 0,3 a	11,6 ± 0,3 a
	Empaque PET	10,2 ± 0,3 a	13,0 ± 0,4 a	12,6 ± 0,3 a	7,7 ± 0,3 b
	Biodegradable	10,6 ± 0,3 a	12,2 ± 0,4 a	12,9 ± 0,9 a	10,1 ± 0,2 a
ATT	Testigo	0,7 ± 0,04 a	0,2 ± 0,01 a	0,3 ± 0,01 ab	0,2 ± 0,04 b
	Empaque PET	0,7 ± 0,04 a	0,3 ± 0,02 a	0,3 ± 0,02 a	0,2 ± 0,02 a
	Biodegradable	0,7 ± 0,04 a	0,3 ± 0,02 a	0,2 ± 0,01 b	0,3 ± 0,01 b
RM	Testigo	15,9 ± 0,4 a	60,9 ± 3 a	42,8 ± 1,9 a	34,9 ± 1,5 a
	Empaque PET	15,9 ± 0,4 a	57,7 ± 3 a	37,7 ± 1,1 a	36,8 ± 2,9 a
	Biodegradable	14,9 ± 0,4 a	48,0 ± 4 a	56,4 ± 5,2 a	33,1 ± 1,8 a
TS	Testigo	18,6 ± 1,6 a	26,8 ± 1,3 a	22,5 ± 1,1 a	11,1 ± 1,9 a
	Empaque PET	18,3 ± 1,1 a	23,3 ± 1,4 a	19,3 ± 1,0 a	22,8 ± 0,4 ab
	Biodegradable	17,7 ± 1,8 a	33,5 ± 1,8 a	23,3 ± 1,4 a	31,2 ± 3,2 b

Letras iguales: no existen diferencias significativas, letras diferentes: existen diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey, $p < 0,05$. *Error estándar ($n=4$)

la respiración, influyendo positivamente en el color del fruto y evidenciando características asociadas a una menor maduración.

Finalmente, se observó que el proceso de maduración se ralentizó en el empaque de polietileno, atribuible a su baja permeabilidad al CO_2 . En términos generales, el uso de atmósferas modificadas junto con envases adecuados representa una alternativa eficiente para prolongar la conservación de las manzanas del cultivar Anna, manteniendo sus propiedades organolépticas durante el periodo de almacenamiento; sin embargo, el uso de envases biodegradables, como el evaluado en esta investigación, ofrece la ventaja de ser una opción sostenible, con menor impacto ambiental.

Agradecimientos. Los autores agradecen a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por permitir realizar este proceso de investigación. **Conflicto de interés:** el artículo fue escrito, preparado y revisado por todos los autores, quienes no tienen conflicto de interés que ponga en duda la validez de los resultados. **Contribución de los autores:** Diana Alejandra Posada-Muñoz: logística, análisis de datos, investigación, escritura borrador original. Lucimar Forero-Mancipe: logística, análisis de datos, investigación, escritura borrador original. Yuli Alexandra Deaquiz Oyola: metodología, investigación, conceptualización, revisión, edición y supervisión.

REFERENCIAS

AMAYA MARTÍN, F.; DEQUIZ OYOLA, Y. 2023. Influencia de la temperatura sobre la calidad poscosecha del durazno [*Prunus persica* (L.) Batsch] cv. Gran Jarillo bajo condiciones de trópico alto. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. 14(2):29-46. <https://doi.org/10.22490/21456453.6262>

ANDRADE, R.D.; PALACIO, J.C.; PACHECO, W.A.; BETIN, R.A. 2012. Almacenamiento de trozos de ñame (*Dioscorea rotundata* Poir) en atmósferas modificadas. Información Tecnológica. 23(4):65-72. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000400008>

ARNOLD, M.; GRAMZA-MICHALOWSKA, A. 2023. Recent development on the chemical composition and phenolic extraction methods of apple (*Malus domestica*). A review. Food and Bioprocess Technology. 17:2519-2560. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03208-9>

BOF, M.J.; LAURENT, F.E.; MASSOLO, F.; LOCASO, D.E.; VERSINO, F.; GARCÍA, M.A. 2021. Bio-Packaging Material Impact on Blueberries Quality Attributes under Transport and Marketing Conditions. Polymers. 13(4):481. <https://doi.org/10.3390/polym13040481>

CANTÍN, C.M.; DÍAZ, A.; DEL RÍO, S.; GRACIA, A.; VAL FALCÓN, J. 2022. Calidad de la manzana en la conservación, fisiopatías relacionadas con calcio y calidad sensorial. Revista de Fruticultura. 87:120-129.

CEPEDA CASTAÑEDA, I.; SAUCEDO VELOZ, C.; COLINAS LEÓN, M.T.; RODRÍGUEZ ALCÁZAR, J. 2014. Evaluación de tratamientos pre y postcosecha con CaCl_2 en la frigoconservación y calidad de manzana cv. Golden delicious. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 15(1):54-60.

- CHAIDEZ GASTÉLUM, D.C.; COSTICH COSTICH, G.; AYÓN REYNA, L.E.; LÓPEZ VELÁZQUEZ, J.G.; GARCÍA ARMENTA, E.; VEGA GARCÍA, M.O. 2024. Prevención del oscurecimiento enzimático de rebanadas de manzana por efecto de un tratamiento hidrotérmico, N-acetilcisteína y cloruro de calcio. *Revista de Ciencias Químico Biológicas*. 1:15-23.
- CHEN, T.; QIN, G.; TIAN, S. 2020. Regulatory network of fruit ripening: current understanding and future challenges. *New Phytologist*. 228(4):1219-1226. <https://doi.org/10.1111/NPH.16822>
- CORONA LEO, L.; HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, D.; MEZA MÁRQUEZ, O. 2020. Análisis de parámetros fisicoquímicos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en piel, pulpa y fruto entero de cinco cultivares de manzana (*Malus domestica*) cosechadas en México. *Biotecnia*. 22(1):166-174. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1193>
- DELAVEGA, J.C.; CAÑAREJO, M.A.; PINTO, N.S. 2017. Avances en tecnología de atmósferas controladas y sus aplicaciones en la industria. *Información Tecnológica*. 28(3):75-86. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000300009>
- ECHEVERRÍA CORTADA, G.; LARRIGAUDIÈRE, C. 2023. Tratamientos postcosecha en fruta de pepita y hueso. *Revista Agricultura*. 1077:40-45.
- ESTRADA BELTRÁN, A.; SALAS SALAZAR, N.; PARRA QUEZADA, R.; OLIVAS OROZCO, G.; JACOBO CUÉLLAR, J.; FLORES CÓRDOVA, M.; ROBLES HERNÁNDEZ, L.; SOTO CABALLERO, M.; FRÍAS MORENO, M. 2021. Perfil de compuestos volátiles y parámetros fisicoquímicos de cuatro variedades de manzana, durante su maduración en árbol. *Interciencia*. 46(4):140-147.
- GIRALDO, G. 2006. El efecto del tratamiento de impregnación a vacío en la respiración de frutas (manzana, fresa, melocotón y sandía) mínimamente procesadas. *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. 13(2):21-25.
- GUTIÉRREZ-VILLAMIL, D.; ÁLVAREZ-HERRERA, J.; FISCHER, G. 2022. Performance of the 'Anna' apple (*Malus domestica* Borkh.) in Tropical Highlands: A review. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 39(1):123-141. <https://doi.org/10.22267/rcia.223901.175>
- HERNÁNDEZ GÓMEZ, M.S.; BARRERA GARCÍA, J.A.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P.; CARRILLO BAUTISTA, M.P.; BARDALES INFANTE, X.L. 2007. Manual de manejo de cosecha y postcosecha de frutos de arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaught) en la Amazonia colombiana. Instituto Amazónico de Investigación Científica SINCHI. 64p. Disponible desde Internet en: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13475>
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC. 1996. Norma Técnica Colombiana 3523-1:1996. Industrias agrícolas. Frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos frescos. Manzana. Disponible desde Internet en: <https://tienda.icontec.org/gp-industrias-agricolas-frutas-legumbres-hortalizas-y-tuberculos-frescos-manzana-ntc3523-1-1996.html>
- KUMAR, P.; SETHI, S. 2021. Influence of Modified Atmospheres on Shelf Life and Quality of Fresh-Cut Apples. *Journal of Packaging Technology and Research*. 5(3):209-216. <https://doi.org/10.1007/s41783-021-00125-0>
- MANTILLA CABRERA, K.; LATIF OLMOS, S.; BOLAÑOS QUITIAQUEZ, B. 2023. Desafíos y oportunidades en la comercialización de empaques biodegradables. *Revista Habitus: Semilleros de Investigación*. 3(6):1-18. <https://doi.org/10.19053/uptc.22158391.16979>
- MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, M.; BALOIS MORALES, R.; ALIA-TEJACAL, I.; CORTÉS-CRUZ, M.; PALOMINO-HERMOSILLO, Y.; LÓPEZ-GÚZMAN, G.G. 2017. Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 19:4075-4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- MELAKU, A. 2022. A review of food packaging materials and active packaging system. *International Journal of Health Policy and Planning*. 1(1):28-35.
- MELCHOR CARDONA, M.; ROMERO YESQUEN, X. 2024. Caracterización del consumidor desde sus preferencias hacia los empaques biodegradables, una segmentación del mercado. *European Public & Social Innovation Review*. 9:1-18. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-801>
- MUÑOZ-GIMENA, P.F.; OLIVER-CUENCA, V.; PEONI, L.; LÓPEZ, D. 2023. Review on Reinforcements and Additives in Starch-Based Composites for Food Packaging. *Polymers*. 15(13):2972. <https://doi.org/10.3390/polym15132972>
- NAVIA, D.P.; VILLADA, H. 2013. Impacto de la investigación en empaques biodegradables en ciencia, tecnología e innovación. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. 11(2):173-180.
- OSPINA MENESES, S.M.; CARTAGENA VALENZUELA, J.R. 2008. La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*. 5(2):112-123.
- PACHÓN, A.; MONTAÑO, A.; FISCHER, G. 2006. Efecto del empaque, encerado y temperatura sobre las características fisicoquímicas y organolépticas de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*) en postcosecha. En: Salamanca, G. Propiedades fisicoquímicas y sistemas de procesado: Productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario. Ed. Universidad de Lleida. p. 72-78.

- PARK, M.H.; CHANG, E.H.; YANG, H.J.; LEE, J.S.; DO, G.R.; SONG, H.J.; CHANG, M.S.; KU, K.M. 2020. Modified atmosphere and humidity film reduces browning susceptibility of oriental melon suture tissue during cold storage. *Foods*. 9(9):1329. <https://doi.org/10.3390/foods9091329>
- PAULSEN, E.; BARRIOS, S.; LEMA, P. 2019. Ready-to-eat cherry tomatoes: Passive modified atmosphere packaging conditions for shelf life extension. *Food Packaging and Shelf Life*. 22:100407. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100407>
- PÉREZ FAGUA, C.; DEQUIZ OYOLA, Y.; SILVA PARRA, A.; CELY REYES, G.; ALMANZA MERCHÁN, P. 2024. Caracterización fisicoquímica de siete variedades de manzana (*Malus domestica* Borkh) establecidas en trópico alto. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. 16(1):357-376. <https://doi.org/10.22490/21456453.8141>
- PÉREZ, M.; DÍAZ, A.; BLANCO, A.; REMÓN, S.; VAL, J. 2012. Tratamientos físicos postcosecha para mejorar la calidad de la manzana Golden. En: Recasens, I.; Graell, J. *Avances en poscosecha de frutas y hortalizas*. Ed. Universitat de Lleida. España. p.451-456. Disponible desde Internet en: <https://digital.csic.es/handle/10261/91917>
- PONCE-GARCÍA, O.M.; SOTO-PARRA, J.; NOPERIMOSQUEDA, L.; ÁLVAREZ-HOLGUÍN, A.; OCHOA-RIVERO, J.; HOLGUÍN-GUTIÉRREZ, F. 2020. Producción y calidad de manzana Golden delicious por efecto de la fertilización con macronutrientes. *Revista Científica Semestral Investigación, Desarrollo e Innovación*. 3(2):573-581.
- RIVERA, C.; CONTRERAS, F.; ARIZA, W.; BONILLA, S.; CRUZ, A. 2019. Los empaques biodegradables, una respuesta a la conciencia ambiental de los consumidores. *Realidad Empresarial*. 7:2-8. <https://doi.org/10.5377/reuca.v0i7.7830>
- SANTOS MANTILLA, S.; BORGES, S.; DE CARVALHO VITAL, H.; MAIA FRANCO, R. 2010. Atmosfera modificada na conservação de alimentos. *Revista Acadêmica Ciência Ambiental*. 8(4):437-448.
- SANTOS, J.; OLIVEIRA, M. 2012. Alimentos frescos minimamente processados embalados em atmosfera modificada. *Brazilian Journal of Food Technology*. 15(1):1-14. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232012000100001>
- TÉLLEZ, C.P.; FISCHER, G.; QUINTERO, O.C. 2007. Comportamiento fisiológico y fisicoquímico de frutos de curuba (*Passiflora mollissima* Bailey) encerados y almacenados a dos temperaturas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 1(1):67-80.
- VILLADA, H.; ACOSTA, H.; VELASCO, R. 2007. Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Revista Temas Agrarios*. 12(2):5-13. <https://doi.org/10.21897/rta.v12i2.652>
- ZHAO, Y.; LI, L.; GAO, S.; WANG, S.; LI, X.; XIONG, X. 2023. Postharvest storage properties and quality kinetic models of Cherry tomatoes treated by high-voltage electrostatic fields. *LWT*. 176:114497. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114497>