

# Evaluación fisicoquímica y microbiológica de ahuyama (*Cucurbita moschata*) troceada en fresco con recubrimiento y polietileno\*

## Physicochemical and microbiological evaluation of freshly cut ahuyama (*Cucurbita moschata*) preserved under coating and polyethylene

RUCO-SÁNCHEZ, CRISTINA<sup>1</sup>; SANTIAGO-CAMPO, CARLOS-HOLMES<sup>2</sup>; PAZ-PEÑA, SANDRA-PATRICIA<sup>3</sup>; MOSQUERA-SÁNCHEZ, SILVIO-ANDRÉS<sup>4</sup>

### Historial del artículo

Recibido para evaluación: 27 julio 2021.

Aprobado para publicación: 20 septiembre 2021.

\* Título proyecto de origen: "Evaluación fisicoquímica y microbiológica de ahuyama (*Cucurbita moschata*) troceada en fresco con recubrimiento y polietileno". Financiación: Universidad del Cauca. Culminación: agosto 4 de 2018

1 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia.

2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia.

3 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniero Agroindustrial, Grupo Investigación Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial (CYTBIA). Popayán, Colombia.

4 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo Investigación Ciencia y Tecnología de Biomoléculas de Interés Agroindustrial (CYTBIA). M.Sc. Ingeniería. Popayán, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-2448-608X>

Correspondencia: [smosquera@unicauca.edu.co](mailto:smosquera@unicauca.edu.co)

Cómo citar este artículo: RUCO-SÁNCHEZ, CRISTINA; SANTIAGO-CAMPO, CARLOS-HOLMES; PAZ-PEÑA, SANDRA-PATRICIA; MOSQUERA-SÁNCHEZ, SILVIO-ANDRÉS. Evaluación fisicoquímica y microbiológica de ahuyama (*Cucurbita moschata*) troceada en fresco con recubrimiento y polietileno. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 20, n. 1, 2022, p. 207-220. Doi: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1943>

## RESUMEN

La ahuyama (*Cucurbita moschata*) se caracteriza por su valor nutritivo, especialmente por su contenido de vitamina A, carbohidratos, fósforo y minerales. También, por poseer 45 % de carotenoides totales, 66 % de  $\beta$ -caroteno, 33 % de  $\alpha$ -caroteno y 44 % de luteína. Su elevado porcentaje de agua cercano al 90 % es propicio para el crecimiento bacteriano y/o fúngico disminuyendo su vida útil. Este estudio evaluó, cada tres días durante un total de 12, con tres repeticiones y tres réplicas, las características fisicoquímicas (peso, color, firmeza, tasa de respiración); microscópicas (MOAR y MET), bromatológicas y microbiológicas, de ahuyama variedad bolo verde troceada en fresco. 4 tratamientos: SN (muestra testigo); CV con vinipel; CR con recubrimiento de almidón de yuca y aceite esencial de tomillo al 1 %; y CB con sistema binario (recubrimiento de fuente natural y vinipel) a una temperatura de 19 °C y humedad media de 77,75 %. Los tratamientos con película de vinilo arrojaron menor pérdida de peso y firmeza, menor tasa de respiración y mayor estabilidad en el color, en tanto que las muestras testigo y recubiertas, arrojaron mayor contenido de azúcares y humedad, pero menor cantidad de proteína y cenizas. Adicionalmente, las muestras con vinipel, con y sin recubrimiento, registraron un menor crecimiento fúngico. La ahuyama troceada en fresco puede conservarse de forma adecuada mediante el uso de películas de polietileno de baja densidad (vinipel), que permiten retrasar de manera efectiva los procesos de pérdida de calidad inducidos por las operaciones de corte y manipulación.

## ABSTRACT

Ahuyama (*Cucurbita moschata*) is recognized by its nutritional value, as it is composed of vitamin A, carbohydrates, phosphorus and minerals. Also, for its content of 45 % of total carotenoids; 66 % of  $\beta$ -carotene; 33 % of  $\alpha$ -carotene, and 44 % of lutein. However, its high amount of water, about 90%, is conducive to bacterial and/or fungal growth reducing its useful life. Present study evaluated every three days, over a total of 12, three repetitions and three replications of freshly cut green bolus squash variety. Physicochemical attributes like weight, color, firmness, and respiration rate were observed, as well as those microscopic (MOAR and MET); bromatological, and microbiological characteristics to 4 different treatments as follow: SN (control sample); CV (Vinyl wrap); CR (coated with cassava starch and 1 % thyme essential oil); and CB: (binary system with natural source coating and Vinyl wrap) under environmental conditions of 19 °C temperature and 77,75 % average humidity. Vinyl wrap treatment exhibited lower weight, firmness loss, fewer respiration rate loss, and had better color stability. Control and coated samples showed higher sugar and moisture content but lower ash and protein. Additionally, samples with coated and uncoated stretch film registered minor fungal growth. Fresh cut squash could be properly preserved through the use of low-density polyethylene films (vinyl wrap), allowing to effectively delay the course of quality loss because of handling operations.

## PALABRAS CLAVE:

Aceite esencial de tomillo;  
Almidón de yuca; Polietileno;  
Recubrimiento natural; Vinipel;  
Evaluación fisicoquímica;  
Microscopía electrónica;  
Crecimiento fúngico.

## KEYWORDS:

Thyme essential oil; Cassava starch; Polyethylene; Natural coating; Vinyl wrap; Ahuyama; Physicochemical evaluation; Electronic microscopy; Fungal growth.

## INTRODUCCIÓN

La ahuyama o zapallo es un cultivo familiar que pertenece a las cucurbitáceas y cuenta con diversidad de usos en fresco, posicionándola entre los alimentos más prometedores por su valor nutritivo, propiedades medicinales y usos como materia prima para la agroindustria, artesanía y decoración. En 2017 en Colombia, el área cosechada, producción y rendimiento fueron de 10.480 ha, 124.001 t y 12 t.ha<sup>-1</sup> respectivamente, pero el nivel tecnológico de los cultivos es diverso en las regiones por la calidad de la semilla, labores culturales, la nutrición, el riego y la protección fitosanitaria (Correa-Álvarez *et al.*, 2019).

El gran tamaño de la ahuyama (*Cucurbita moschata*), calabaza o zapallo, dificulta la compra del fruto entero; los supermercados, plazas de mercado y tiendas de barrio disponen el fruto en porciones, facilitando su consumo y visualización de las características de la pulpa, principalmente el color, que es un elemento que se relaciona directamente con la aceptabilidad. En algunos casos, se cubre con polietileno (vinipel), aunque en otros se exhibe sin protección, quedando expuesta a las partículas encontradas en el ambiente y al contacto directo con el comprador, que son fuentes de contaminación e inducen a un rápido deterioro de la calidad por *Alternaria* sp., *Curvularia* sp., *Fusarium* sp., *Miceliasterilia* sp., *Oidium* sp., *Penicillium* sp. y *Nigrospora* sp (Universidad Nacional de Colombia, 2011), aunque Márquez (2012) aclara que los microorganismos que la atacan son los hongos *Phytophthora* pp. *Dydimella bryoniae*, *Colletotrichum orbiculare* causante de antracnosis, *Fusarium* spp., y la mancha bacteriana causada por *Pseudomonas syringae* p.v. *lachrymans*. En este estudio se evaluaron las características físico-químicas y microbiológicas de ahuyama variedad Bolo verde troceada en fresco, con recubrimiento natural y polietileno como materiales de empaque, almacenados bajo condiciones ambientales, con el fin de establecer el mejor método de cubierta para la comercialización.

## MÉTODO

La investigación se desarrolló en Popayán, Colombia (1.760 msnm, temperatura promedio 19 °C, humedad relativa del 77,75 %) (Alcaldía de Popayán, 2018), en los laboratorios de Biotecnología, Microbiología, Textura y Empaques y de Microscopía electrónica de la Universidad del Cauca.

### Materiales

Se utilizaron siete ahuyamas variedad Bolo verde cultivadas en el municipio de Guachené (Cauca), recolectadas 60 días después de la floración (DDF) en estado maduro, considerando uniformidad en tamaño, forma, color (cáscara verde oscuro no opaco y pedúnculo 50 % marrón) (Sollier *et al.*, 2005). Se seleccionaron frutos sin magulladuras, manchas, decoloraciones, perforaciones, residuos químicos y signos de pudrición, con olor y sabor característico (Instituto Colombiano de Normas y Certificación-ICONTEC, 1977).

Se usó polietileno de baja densidad (vinipel), por ser plástico extensible, atóxico y adherente en PVC (Muñoz-Monsalve, 2020); almidón hidrolizado de yuca variedad SM 707-17 modificado con  $\alpha$ -amilasa de *Bacillus amyloliquefaciens* Ban 240 L (Sigma Aldrich) con grado de modificación de 10 % de Dextrosa Equivalente (DE) (Hoyos-Yela *et al.*, 2019), humedad del 12 % en base seca y tamaño de partícula de 300  $\mu$ m; aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) que impide el desarrollo de colonias bacterianas a una concentración del 1 % (Montero-Recalde *et al.*, 2018).

A las ahuyamas se les retiró la tierra, se desinfectaron con hipoclorito de sodio a 50 ppm (OIRSA, 2020) y se secaron con toallas absorbentes, se cortaron en trozos de 20 x 8 cm, se retiraron las semillas, se colocaron en canastillas lavadas y desinfectadas; se identificaron con letras de acuerdo con el tratamiento: SN (muestra testigo), CV (vinipel), CR (recubrimiento de almidón de yuca y aceite esencial de tomillo al 1 %) y CB (sistema binario: recubrimiento de fuente natural y vinipel) y se realizaron mediciones físico-químicas, microbiológicas, bromatológicas y de microscopía, por triplicado, a los 3, 6, 9 y 12 días.

Para el tratamiento CR, las materias primas se mezclaron a 30 °C, adicionando 4 % de almidón de yuca, 2 % (v/v) de glicerina y 0,02 % Tween 80 con 1 % (v/v) de aceite esencial de tomillo, se llevó a baño maría a 75 °C por 15 minutos con agitación constante y aspersión (Hoyos-Yela *et al.*, 2019) con un porcentaje de ciclo de 20 %, tiempo de anticipación de 2 s, tiempo posterior de 2 s, presión del líquido 30 bar, presión de aire 40 bar.

Para el tratamiento CV se aplicaron tres capas de vinipel sobre el fruto y se colocaron las ahuyamas en las canastillas previamente lavadas y desinfectadas con hipoclorito de sodio. Para el tratamiento CB, se aplicó el recubrimiento natural, previo al revestimiento con vinipel, sobre cada trozo de ahuyama.

## Evaluación de variables

Se evaluaron cambios en pérdida de peso (Cañizares *et al.*, 2019); color (colorímetro NR20XE) mediante luminosidad  $L^*$  ( $L^* = 0$  para el negro y 100 para el blanco), cromaticidad  $a^*$  (verde [-], rojo [+]) y  $b^*$  (azul [-], amarillo [+]), coordenadas  $C^*$  (croma) y  $h^\circ$  (tono); firmeza (Castillo-Silva *et al.*, 2018) y tasa de respiración (Oxybaby), recuento microbiológico en medio YGC por duplicado (100  $\mu$ L) sembrado en superficie con perlas de vidrio de diluciones de solución de pulpa de ahuyama hasta  $10^{-3}$ , incubadas a 28 °C. Se contaron las colonias después de 3, 4 y 5 días de incubación; se retiraron las cajas que tenían menos de 150 colonias (ICONTEC, 1977) y se hizo conteo de mohos por gramo. Se enviaron las muestras al laboratorio de análisis químico y bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, para el análisis de azúcares totales, contenido de grasa, humedad, proteína y minerales, para los tres sistemas de cubierta y la muestra testigo.

Se procesaron las muestras por las técnicas MOAR (Microscopía Óptica de Alta Resolución) y MET (Microscopía Electrónica de Transmisión), para observar los cambios estructurales en el tejido de la ahuyama después de ser cortado y el efecto del recubrimiento sobre la cáscara y la pulpa.

## RESULTADOS

### Pérdida de peso

En frutos enteros, el agua de los espacios intercelulares no está expuesta a la atmósfera exterior, luego del corte se expone el tejido causando un incremento en la velocidad de evaporación y alteraciones fisiológicas que aceleran la senescencia, deterioro de tejidos, marchitez y arrugamiento (Salomón-Castaño *et al.*, 2020), sumado a la actividad de enzimas que inducen cambios en los componentes de la pared celular, provocando menor succulencia y firmeza del tejido (De Armas-Costa *et al.*, 2020). Los trozos de ahuyama de la muestra testigo perdieron el 46,4 % de su peso en 12 días frente a un fruto de ahuyama entero “tipo kabutía” que solo perdió el 8,6 % de su peso luego de seis meses a 12 °C y 80 % de humedad relativa (Zaccari *et al.*, 2015).

La aplicación del recubrimiento no tuvo efecto mientras que el uso del empaque con vinipel con o sin recubrimiento presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), similar a lo obtenido en poscosecha de gulupa (*Pasiflora edulis* F. *edulis*) (Pachón *et al.*, 2006) a 6 y 18 °C con vinipel y cera almacenada 16–24 días, obteniendo menor pérdida de peso con vinipel (Figura 1). El Anova muestra un efecto significativo de todos los tratamientos sobre la pérdida de peso ( $p < 0,05$ ), excepto entre CV y CB, lo que significa un comportamiento similar entre ellos, que se mantuvo durante el tiempo de valoración.

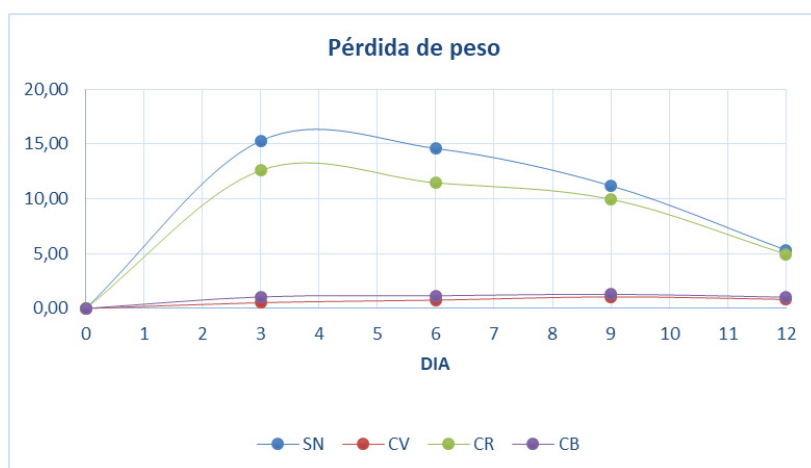


Figura 1. Comportamiento de la pérdida de peso.

## Color

La luminosidad ( $L^*$ ) disminuyó continuamente y no se encontraron diferencias entre los tratamientos debido al corte, aunque la ruptura de las células propició reacciones que conducen al deterioro de las células, tornándose marrón o negro debido a la síntesis de melanina (Salomón-Castaño *et al.*, 2020).

Los valores de cromaticidad en los costados de los trozos de ahuyama muestran mayor estabilidad en las muestras recubiertas con vinipel. El parámetro  $a^*$  se incrementó en el día 3 en la muestra testigo con notoria pérdida de color al cortar la ahuyama debido al incremento del área expuesta al oxígeno y el contacto de los carotenoides con las enzimas (peroxidasa y lipoxidasa) que catalizan su oxidación (Cervantes-Paz y Elhadi, 2019), en el día 6 ocurrió en las recubiertas y en el día 9 en los trozos con vinipel y no presentó diferencias significativas entre tratamientos hasta el día 12. La aplicación del recubrimiento incrementó las síntesis de carotenoides hasta el día 6, luego presentó comportamiento similar al de la muestra testigo, y los trozos con vinipel con o sin recubrimiento conservaron el color hasta el día 9. De lo observado, se puede inferir que empaque con vinipel actuó mejor ya que conservó el color, mientras que el recubrimiento presentó un efecto menos favorable a partir del día 6 (Figura 2).

El parámetro  $b^*$  presentó diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) por efecto del factor tiempo entre los días 0 y 12 en los tratamientos SN-CV, SN-CB y CV-CR, manifestando su influencia sobre la pérdida de color. El día 6 hubo diferencia significativa entre SN-CV y CR-CB, mientras que en los días 9 y 12, la muestra control y el recubrimiento presentaron un comportamiento similar en los tratamientos donde se efectuó el empaque con vinipel con o sin recubrimiento, con diferencias significativas (Figura 2a).

La escala  $C^*$  indica color menor saturado, característica conferida por los carotenoides presentes que son menos representativos, asociado con el parámetro  $b^*$  que también muestra disminución con el tiempo. Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) por efecto del factor tiempo entre los días 0 y 12 en los tratamientos SN-CV, SN-CB y CV-CR, lo que indica que hay influencia del vinipel. Al igual que con el parámetro  $b^*$ , en los días 6, 9 y 12 existe una diferencia significativa entre el testigo y CV, CR-CB, respectivamente, en la disminución de saturación del color (Figura 2b).

La disminución del matiz ( $h^\circ$ ) en los trozos con vinipel y recubrimiento cada 3 días, fue el indicador del cambio de naranja a marrón debida a la marchitez del fruto por la disminución de la saturación ( $C^*$ ). Se presentó diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) por efecto del factor tiempo entre los días 0 y el día 12 en los tratamientos SN-CV, SN-CB, CV-CR y CV-CB, indicando cambio de color amarillo a marrón, siendo similar el comportamiento en los tratamientos CR y CB. En el día 6 hubo diferencia entre SN-CV y CV-CR, debido a que el tratamiento con vinipel

presentó un aumento en la tonalidad; el último día hubo diferencia entre SN y CV, lo que quiere decir que el comportamiento tiende a ser similar entre los demás tratamientos (Figura 2c).

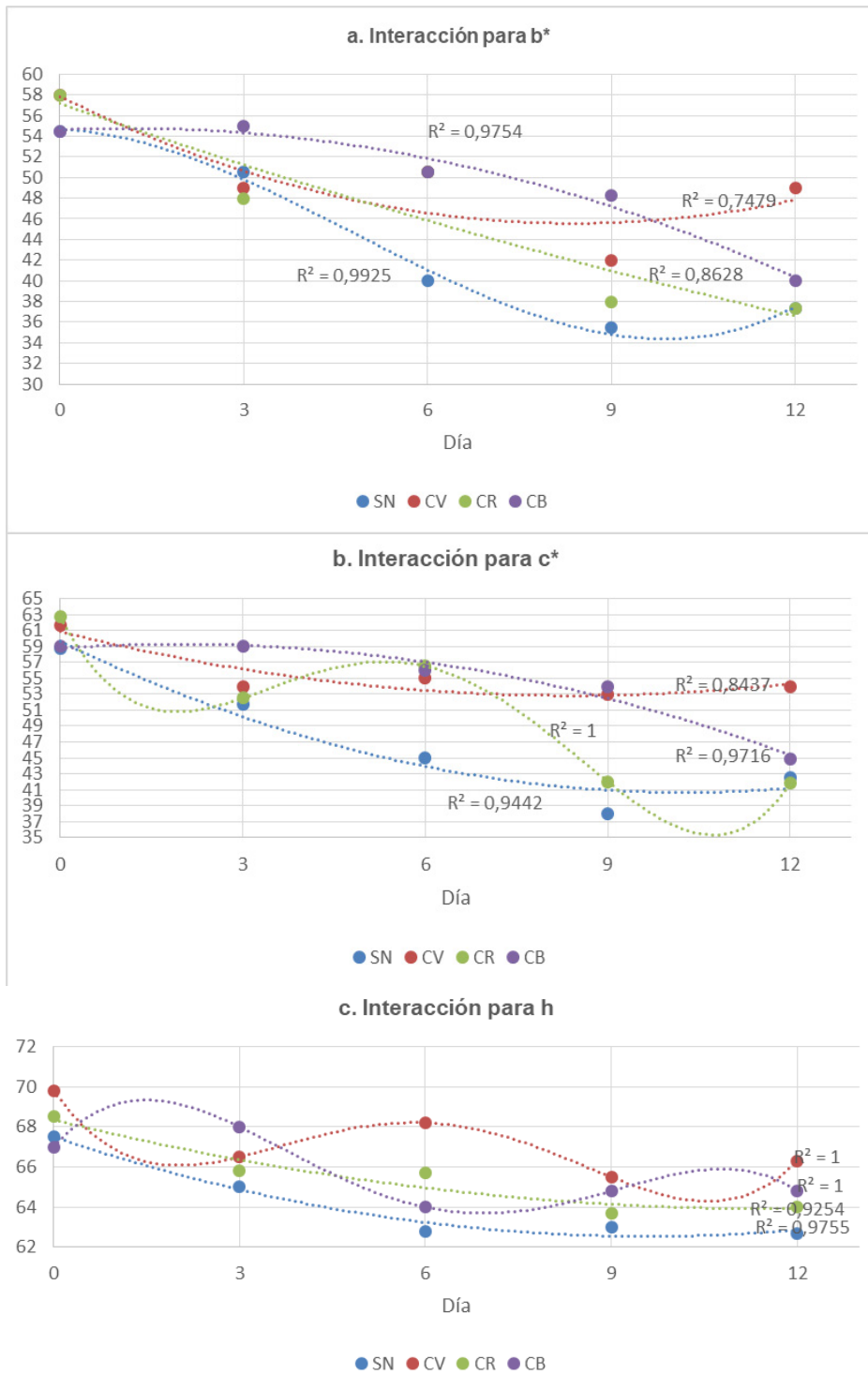


Figura 2. Comportamiento de b\*, c\*, h.

## Firmeza

El ablandamiento de tejidos y arrugamiento en las frutas y hortalizas se deben a cambios fisiológicos por la hidrólisis de los almidones y de las pectinas, la reducción de su contenido de fibra y a la degradación de las paredes celulares que provocan la partición de las moléculas, facilitando el contacto con enzimas (proteolíticas y pectolíticas) y sustratos (Salomón-Castaño *et al.*, 2020).

El primer día hubo resultados heterogéneos (mínimo de 62,3 y máximo de 82,7 N), posiblemente por el estado de madurez del fruto y las condiciones de la plantación (clima, exposición al sol y superficie expuesta al suelo). Los frutos de los tratamientos CV y CB presentaron un comportamiento similar entre sí con incremento hasta el día 3 y posterior disminución, los de SN y CR presentaron disminución permanente excepto el día 6 (debido a la severa deshidratación que sufrieron algunos frutos, generando características “corchosas” en la corteza, que dificultaban su ruptura), siendo más pronunciada la de CR llegando a 22,7 al final del ensayo, valor menor de todos los obtenidos.

El ANOVA indica que el 82,09 % de los datos se ajustan al modelo R cuadrado, con efecto significativo de todos los tratamientos sobre la pérdida de firmeza, con diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre SN-CV, CV-CR y CR-CB en el día 3 por la influencia del vinipel que afecta las propiedades mecánicas y la pérdida de agua. El día 9 no presentó diferencia en SN-CV y SN-CB, siendo notoria la disminución excesiva en los trozos con recubrimiento. El día 12 hubo diferencias entre todos los tratamientos, excepto entre SN y CB, lo que indica que la muestra testigo y el sistema binario presentaron comportamiento similar, aunque en los cuatro tratamientos fue diferente, encontrando que CV fue el que menor pérdida de firmeza presentó al final del proceso. El uso de vinipel parece reducir el intercambio gaseoso y su efecto es independiente del empleo del recubrimiento que ocasionó mayores pérdidas de firmeza al incrementar la humedad del fruto por la ruptura de tejidos y adición de la cubierta, provocando el ablandamiento del tejido (Figura 3).

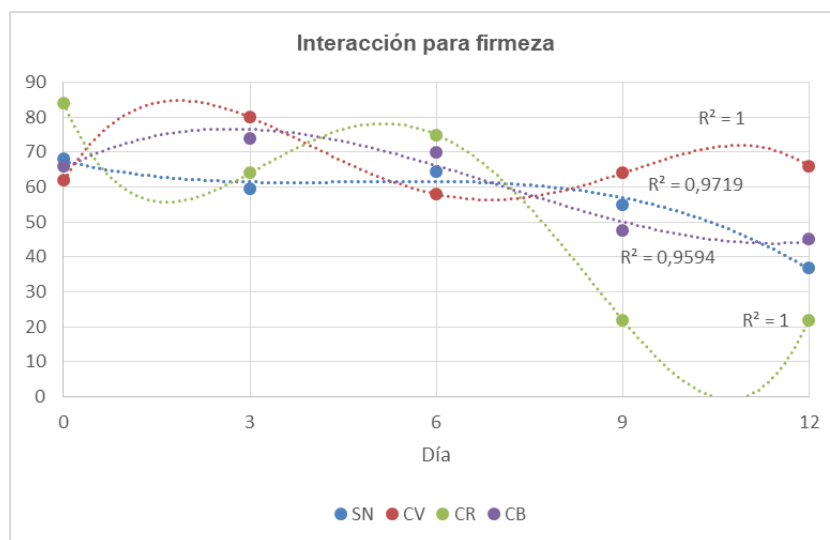


Figura 3. Comportamiento de la firmeza.

## Tasa de respiración

La respiración regula la mayoría de las alteraciones bioquímicas, que se traducen en modificaciones de color, sabor y aroma, en función de factores intrínsecos y extrínsecos como la variedad de la fruta, el punto de cosecha (grado de madurez), la temperatura ambiente, la concentración de gases alrededor del producto y los cortes y daños mecánicos (García-Celis *et al.*, 2019).

**Porcentaje de CO<sub>2</sub>** La menor liberación de CO<sub>2</sub> ocurrió en el tratamiento SN, debido posiblemente a que la temperatura alrededor del corte modificó la composición atmosférica dentro de los materiales de cubierta (vinipel y recubrimiento) y la superficie, acelerando la respiración por la degradación celular y difusión del gas hacia el exterior de la célula (González-Orozco *et al.*, 2020), evidenciado en la superficie del vinipel como exudados en forma de pequeñas gotas. Este efecto también se presentó en zanahoria donde la velocidad de respiración entera y pelada comparada con cortes en forma de discos o tiras, aumentó de 6 a 8 y 12  $\mu\text{L}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , respectivamente; en coles, se incrementó a 6, 13 y 17  $\mu\text{L}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , al ser cortada en cuartos y tiras de 0,5 x 3 cm y 0,25 x 1,5 cm, respectivamente en tanto que en lechuga aumentó de 2-3 veces (Cantwell, 1998).

Todas las muestras marcaron una curva ascendente con promedio de 25,2 % en CV, 26,1 % en CR y 27,1 % en CB, respecto a 13,4 % de SN en el día 12, lo que pone en manifiesto las significativas diferencias ( $p < 0,05$ ) entre tratamientos. El ANOVA mostró que el 98,12 % de los datos se ajustan de forma aceptable al modelo matemático, evidenciando el efecto significativo de los tratamientos (SN, CV, CR, CB) sobre la tasa de respiración ( $p < 0,05$ ), pues se presentaron diferencias significativas entre el testigo y CV y CR-CB. En la interacción tiempo-tratamiento, la película de vinipel el día 3 generó una barrera de protección ayudando a disminuir su producción; en el día 6, el tratamiento con recubrimiento presentó mayor producción con respecto a los demás, por lo tanto, mayor degradación celular. El día 12 la muestra testigo presentó menor porcentaje de CO<sub>2</sub>, debido probablemente a la presencia de hongos que causaron daño físico e incrementaron la pérdida de agua y respiración, en tanto que los tratamientos con recubrimiento no tuvieron incidencia positiva sobre la disminución de porcentaje de CO<sub>2</sub> (Figura 4a).

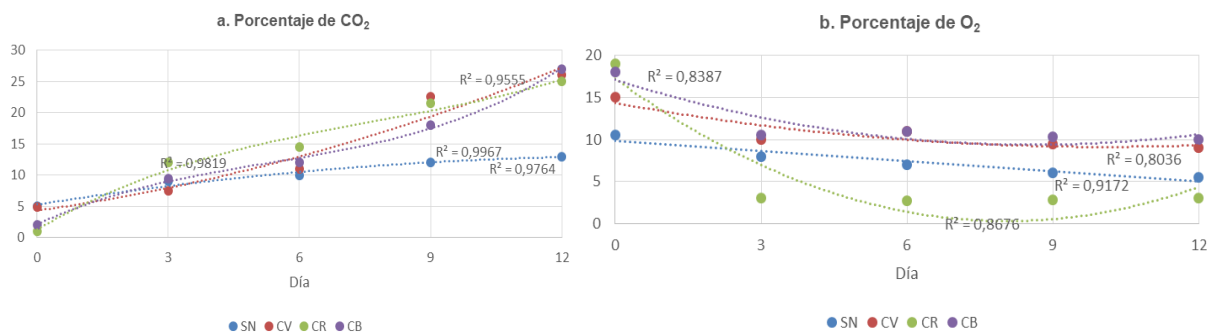


Figura 4. Comportamiento del porcentaje de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

**Porcentaje de O<sub>2</sub>** Al realizar el corte del fruto, es notoria la disminución en el contenido de oxígeno debido al inicio del proceso de reparación celular, del cual es el principal sustrato (Figura 4b). Se observó mayor efectividad en los tratamientos con vinipel con o sin recubrimiento, con una disminución progresiva en el porcentaje de oxígeno, creando una modificación en la composición atmosférica: al bajar la concentración de oxígeno y/o subir la de dióxido de carbono, se suprimió el crecimiento fúngico.

Excepto entre CV y CB, se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), mientras que en la interacción tiempo-tratamiento, se encontró que en el día 3 el recubrimiento aceleró el consumo de O<sub>2</sub> para transformarlo en CO<sub>2</sub>, iniciando la fase de senescencia, mientras los demás tratamientos presentaron una tendencia decreciente. El último día de seguimiento, el recubrimiento disminuyó el oxígeno de 19 a 3 %, lo que quiere decir que la respiración se desplazó hacia rutas anaerobias, generando compuestos volátiles como el acetaldehído y el etanol, que pueden dar origen al mal sabor y aroma (Franco-Gaytán *et al.*, 2018).



## Pruebas bromatológicas

La energía proviene de la oxidación de las propias reservas de almidón, azúcares y otros metabolitos y a la deshidratación que inicia la activación de algunas enzimas ( $\alpha$ -amilasa,  $\beta$ -amilasa e invertasa) (Corregido, 2020). Además, las levaduras también utilizan los azúcares como fuente de carbono para las necesidades de crecimiento y reproducción (Morocho y Leiva, 2019).

El contenido de carbohidratos fue de 33,6 % el día 0, disminuyendo hasta 19, 30 y 21,5 % el día 12 en SN, CV y CR, respectivamente (Figura 5a).

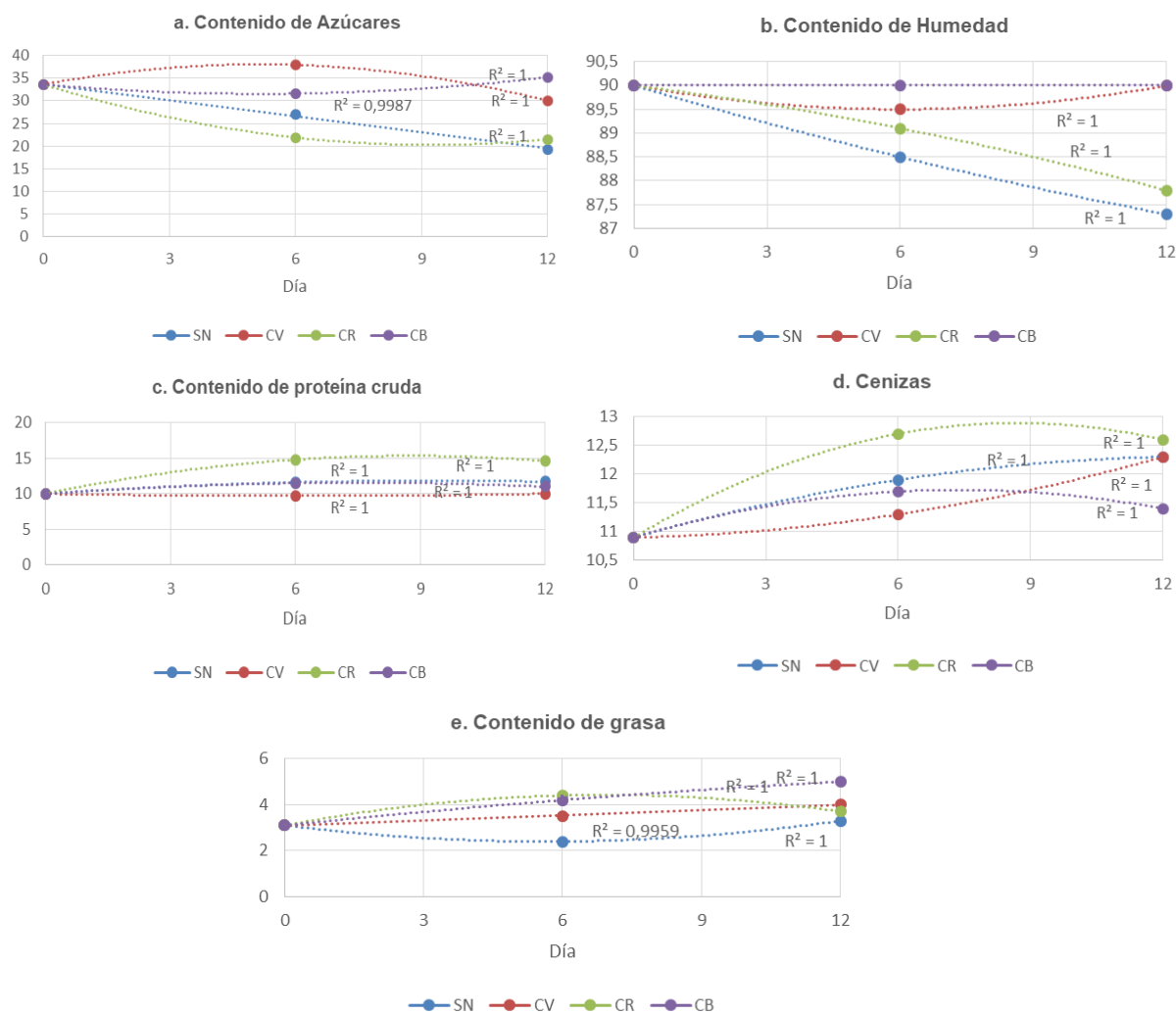


Figura 5. Resultados pruebas bromatológicas.

El porcentaje de humedad inicial (día 0) de los trozos de ahuyama fue 90 %. En el caso de los trozos de ahuyama SN y CR, se presentó una disminución hasta 87,3 y 87,8 % (Figura 5b), respectivamente, posiblemente como consecuencia directa de la diferencia de humedad entre la ahuyama y el ambiente, diferencial que genera el proceso de deshidratación celular (Mederos-Torres *et al.*, 2020).

La proteína cruda en los trozos de ahuyama al inicio fue de 10 %, que aumentó en los tratamientos SN, CR y CB con valores de 11,7, 14,6 y 11 % respectivamente (Figura 5c), posiblemente por la síntesis de enzimas y a la deshidratación que concentró el contenido de nutrientes (Wills *et al.*, 1984); resultado similar a lo reportado en hojas de *Moringa oleifera* al incrementarse en 25,6 y 31,5% en secado y deshidratado (Quintanilla-Medina *et al.*, 2018) y en banano de 1,27 % en su estado fresco a 2,18 % (Macías-Ganchozo *et al.*, 2018). El contenido de minerales presentó un incremento desde 10,9 % de cenizas en el día 0 (Figura 5d) debido posiblemente a la deshidratación de los trozos de ahuyama. El contenido inicial de grasa fue de 3,12 % (día 0), con incrementos en todos los tratamientos (Figura 5e), debido a la pérdida de agua que produjo la concentración de este nutriente, situación similar a lo encontrado por Casallas (2010) en banano deshidratado frente al fresco (1,1 g en 100 g).

## Desarrollo fúngico

Los tratamientos con vinipel con o sin recubrimiento presentaron un crecimiento inferior a los demás, probablemente porque la capa protectora de vinipel aisló el trozo, minimizando el contacto de la superficie con el ambiente ya que las propiedades de barrera del vinipel como la permeabilidad, favorecieron la creación de una atmósfera que evitó el desarrollo de organismos de tipo aerobio. En el día 12 se observó una diferencia marcada del recubrimiento natural frente a los demás tratamientos, al presentar mayor crecimiento fúngico, permitiendo deducir que no es efectivo en frutos que han sufrido modificaciones mecánicas (cortes) y que, por el contrario, induce y potencia el desarrollo microbiano.

Los tratamientos SN y CR presentaron el mayor desarrollo de hongos sobre la superficie del trozo ( $3,1 \times 10^4$  y  $1,1 \times 10^5$  UFC/g respectivamente), debido probablemente a que la alta humedad de la ahuyama y las superficies cortadas proporcionaron las condiciones necesarias para el crecimiento fúngico (Hernández-López *et al.*, 2018) y a que algunos microorganismos aerobios psicrófilos, mesófilos y levaduras, encontraron disponibilidad de sustrato proveniente del almidón de yuca y materia orgánica de la ahuyama y a la temperatura ambiental predominante en la zona.

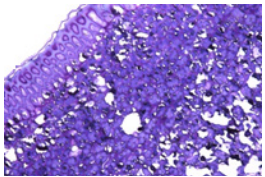
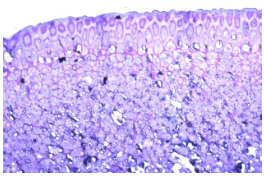
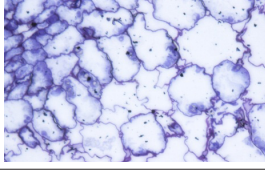
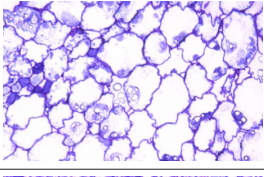
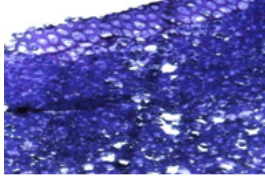
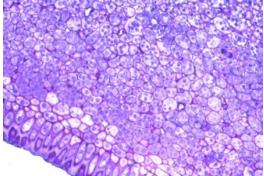
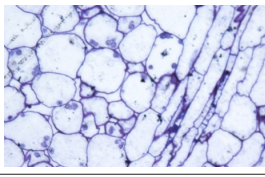
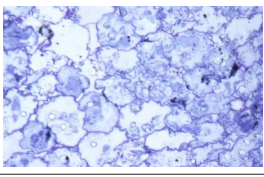
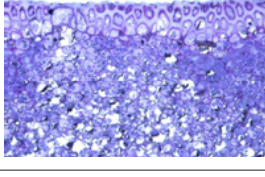
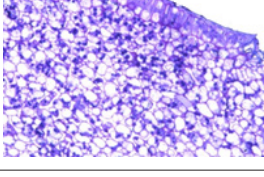
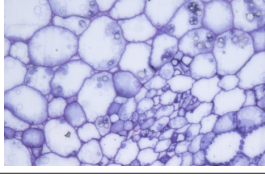
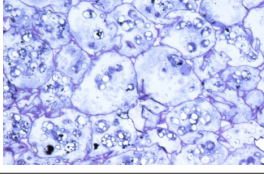
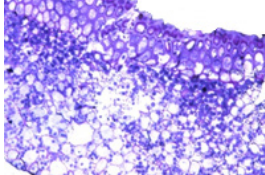
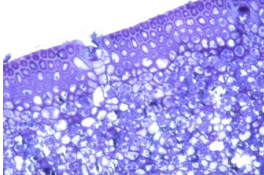
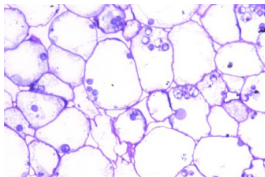
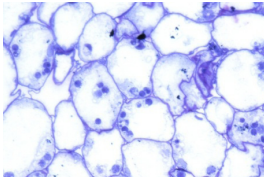
## Pruebas microscópicas

**Microscopía óptica de alta resolución (MOAR).** La cáscara de la muestra testigo presentó células rotas desde el día 0, en tanto que en todos los tratamientos de la pulpa hubo considerable afectación debido al corte, causando liberación de agua en los espacios extracelulares y degradación de los lípidos de la membrana. Se evidencia presencia del recubrimiento en las células de la epidermis y tejido (colénquima) que incrementa la composición lipídica de la estructura, posiblemente por el aceite esencial de tomillo que, debido a la permeabilidad de las membranas fracturadas y porosas, permitieron su alojamiento en las estructuras.

Aunque el número de células cortadas fue relativamente pequeño, el tejido vegetal dañado produjo la aparición de espacios intra y extracelulares en la cáscara y pulpa, por la respuesta fisiológica de reparación del tejido, responsable del aumento de la respiración y de la producción de etileno, inducción de síntesis fenólica e inicio de la cicatrización de heridas.

**Microscopía electrónica de transmisión (MET).** La cáscara y la pulpa presentaron características propias de las células vegetales, como una pared celular gruesa que define la forma y el tamaño y proporciona sostén en la célula, cloroplastos y vacuolas cuya función es almacenar sustancias. En el tratamiento con vinipel se observó daño estructural en la cáscara y, como consecuencia, pérdida de la forma ovoide de la vacuola, células deformadas, espacios en la pared celular más pronunciados y deshidratación en las células, presentando encogimiento. La cáscara de los trozos en el sistema binario (CB) presentó mayor degradación celular con respecto a la muestra con recubrimiento, presentando células sin estructura definida, rompimientos celulares y células deshidratadas acompañados de encogimiento. En el tratamiento con vinipel se observó la ultraestructura de la pulpa, encontrando la estructura del almidón (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de pulpa y cáscara por MET.

Tratamiento	Día 6	Característica	Día 12	Características
Muestra tes-tigo: cáscara		División celular; se pierde la forma alargada para hacerse redonda; presencia de espacios y ruptura celular en el tejido de volumen.		Pérdida de grosor. El tejido mecánico (colénquima) presenta compactación y agrupamiento; el tejido de volumen (parénquima) sigue el proceso de ruptura celular.
Muestra tes-tigo: pulpa		Pérdida de consistencia entre células, aparición de espacios extracelulares y disminución del tamaño de las células.		Pérdida de turgencia, disminución de tamaño y aumento de espacios intra y extracelulares, menor compactación.
CR: cáscara		Epidermis transformada, modificando los refuerzos de la cutícula y los tejidos mecánicos (colénquima); ruptura de células del tejido de volumen (parénquima).		Epidermis mantiene grosor, posee refuerzos en la estructura de cutícula y los tejidos mecánicos (colénquima).
CR: pulpa		Células compactadas y delimitadas por la pared celular, hay conservación del tejido de relleno (parénquima).		Pérdida de consistencia, degradación celular, rupturas a nivel intracelular y deshidratación del tejido.
CV: cáscara		División celular de epidermis y presencia de refuerzos en la cutícula y tejido mecánico; se evidencian espacios en el tejido de volumen (parénquima) y ruptura celular.		Epidermis más delgada con refuerzos sobre la estructura. Colénquima y parénquima con espacios translúcidos en el interior de la célula, no hay espacios extracelulares.
CV: pulpa		Las células del tejido de reserva (colénquima), presentan espacios extracelulares, a perder forma y tamaño.		Pérdida de turgencia con modificaciones de tamaño y generación de espacios extracelulares; no hay compactación entre células.
CB: cáscara		Epidermis y colénquima han sufrido transformación de sus refuerzos y aumento del tamaño de la epidermis. El colénquima presenta espacios a nivel intracelular, pero conserva su compactación.		Las células epidérmicas continúan con la estructura de refuerzo por la penetración del recubrimiento; hay mayor degradación celular en el parénquima, mayor cantidad de espacios y menor compactación.
CB: pulpa		Células con pérdida de tamaño y forma, evidenciado en los espacios intracelulares generados. Se inicia proceso de descompactación y pérdida de turgencia.		Células con pérdida de forma, mayor cantidad de espacios, deterioro general en el tejido de reserva (parénquima) y cambios en la anatomía general de tejido.

## CONCLUSIONES

La mejor conservación de los trozos de ahuyama se observó con la película de vinipel, con o sin recubrimiento porque los frutos conservaron gran parte de sus características a temperatura ambiente (19 °C), retrasando significativamente la pérdida de peso, degradación de color, manteniendo la textura y firmeza de la muestra, menor crecimiento microbiano y conservación de los componentes (azúcares totales, contenido de grasa, humedad, proteína y minerales). La aplicación del recubrimiento natural a base de almidón de yuca y aceite esencial de tomillo al 1 %, no parece ser viable para la conservación de los trozos de ahuyama en pos cosecha. El recubrimiento puede ser favorable para frutos enteros que no han sufrido daño físico, pero al realizar el corte no es efectivo como una película de barrera contra los daños fisiológicos que se presentan.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad del Cauca por facilitar los recursos necesarios para el desarrollo de esta investigación, a la Asociación de Agricultores de Guachené (Cauca) por su participación activa en el desarrollo de las actividades.

## REFERENCIAS

- ALCALDÍA DE POPAYÁN. Nuestra geografía. 2018. <http://popayan.gov.co/ciudadanos/popayan/nuestra-geografia>. [consultado enero 2018].
- CANTWELL, M. Fresh-Cut Biology and Requirements. En Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety UC Davis Postharvest Hort, 1998. Series No.10. Citado por Villegas, A. Cambios en la calidad de frutos de Litchi mínimamente procesados. <http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/10856/Cambios%20en%20la%20calidad%20de%20frutos.pdf?sequence=1>. [Consultado julio 2019].
- CAÑIZARES, ADOLFO; AMAIZ-MOTA, SUSMARA; COLIVET, JULIO. Efecto de recubrimiento comestible a base de almidón de yuca sobre los parámetros químicos y sensoriales de cascos de guayaba. *Cumbres*, v. 5, n. 1, 2019, p. 137-154. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v5n1a10>
- CASALLAS, L. Evaluación del análisis fisicoquímico del banano común (*Musa sapientum* L.) transformado por acción de la levadura *Candida guilliermondii* [Tesis Microbiología industrial y Nutrición y dietética]. Bogotá (Colombia): Pontificia Universidad Javeriana, 2010.
- CASTILLO-SILVA, DORA; SALAZAR-ANACONA, KATTERINE; MOSQUERA-SÁNCHEZ, SILVIO-ANDRÉS; RENGIFO-CANIZALES, EDWUIN. Efecto de recubrimientos de almidón modificado de yuca, proteína aislada de soya y aceite esencial de orégano aplicados a la papaya. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, v. 21, n. 1, 2018, p. 71-80. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n1.2018.664>
- CERVANTES-PAZ, BRAULIO; ELHADI M., YAHIA. Efecto del proceso de maduración del fruto de aguacate en la absorción in vitro de carotenoides. *Revista Latinoamericana de Química*, n. 47, 2019, p. 353-353.
- CORREA-ÁLVAREZ, ENDER-MANUEL; YACOMELO-HERNÁNDEZ, MARLON-JOSÉ; LEÓN-PACHECO, ROMEL-IGOR; OROZCO-GUERRERO, ALFONSO-RAFAEL; SILVA-ACOSTA, GABRIEL-ERNESTO; TAMARA-MORELOS, RICARDO-ENRIQUE. Modelo productivo de ahuyama para la región caribe colombiana. Mosquera (Colombia): Agrosavia, 2019.

- CORREGIDO, MARÍA-CECILIA. Estudio funcional de enzimas del metabolismo del carbono y la energía en células auto- y heterotróficas de organismos fotosintéticos y quimiolitotrofos [Tesis doctorado en Ciencias Biológicas]. Santafé (Argentina): Universidad Nacional del Litoral, 2020.
- DE ARMAS-COSTA, RICARDO; MARTÍN-GÓMEZ, PEDRO; RANGEL-DÍAZ, JORGE. Signature of the maturity states of tropical climacteric fruits. *Revista Ciencia y Agricultura*, v. 17, n. 1, 2020, p. 51-65.  
<https://doi.org/10.19053/01228420.v17.n1.2020.10654>
- FRANCO-GAYTÁN, IVÁN; SAUCEDO-VELOZ, CRESCENCIANO; CALDERÓN-ZAVALA, GUILLERMO; CRUZ-HUERTA, NICACIO; TELIZ-ORTIZ, DANIEL; GALICIA-CABRERA, ROSA M. Calidad y vida de anaquel de tres cultivares de fresa (*Fragaria ananassa*) tratadas con concentraciones altas de CO<sub>2</sub> por periodo corto. *Agro-Ciencia*, v. 52, n. 3, 2018, 14 p.
- GARCÍA-CELIS, JAQUELINE; ORTEGA-MUÑOZ, KEIDY-VIVIANA; PERLAZA-ESTERILLA, WAIBER. Evaluación del efecto de la aplicación de un recubrimiento de quitosano-aloe vera sobre la tasa de respiración de la uchuva (*Physalis Peruviana* L.). V Simposio de Materiales Poliméricos (Cali, Colombia, 2019). <http://web.b.ebscohost.com/acceso.unicauca.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=15&sid=a9aa9948-de76-4ccf-b254-bac48d7159fb%40pdc-v-sessmgr03>
- GONZÁLEZ-OROZCO, BRIANDA; MERCADO-SILVA, EDMUNDO; CASTAÑO-TOSTADO, EDUARDO; VÁZQUEZ-BARRIOS, MARÍA-ESTELA; RIVERA-PASTRANA, DULCE M. Effect of short-term controlled atmospheres on the postharvest quality and sensory shelf life of red raspberry (*Rubus idaeus* L.). *CYTA – Journal of food*, v. 18, n. 1, 2020, p. 352–358.  
<https://doi.org/10.1080/19476337.2020.1758216>
- HERNÁNDEZ-LÓPEZ, MÓNICA; GUILLÉN-SÁNCHEZ, JESSICA; BAUTISTA-BAÑOS, SILVIA; GUILLÉN-SÁNCHEZ, DAGOBERTO. Evaluación de películas biodegradables en el control de hongos postcosecha de la papaya. *Cultivos Tropicales*, v. 39, n. 1, 2018, p. 52-60.
- HOYOS-YELA, NELSY; PÉREZ-IMBACHÍ, ROCÍO; MOSQUERA-SÁNCHEZ, SILVIO-ANDRÉS; PAZ-PEÑA, SANDRA-PATRICIA. Efecto de la aplicación de un recubrimiento de almidón de yuca modificado por vía ácida sobre el tomate larga vida. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*, v. 22, n. 2, 2019, e1388.  
<https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1388>
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACION (ICONTEC). Frutas y hortalizas frescas. NTC 1291. Bogotá (Colombia): 1977.
- MACÍAS-GANCHOZO, EDGAR; BELLO-MOREIRA, ITALO; TRUEBA-MACÍAS, SABRINA; ANCHUNDIA-MUENTES, XAVIER; ANCHUNDIA-MUENTES, MANUEL; BRAVO-MOREIRA, CELIO. Design, development and performance of solar dryer for pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.), mamey (*Mammea americana* L.) and banana (*Musa paradisiaca* L.) fruit drying. *Acta Agronómica*, v. 67, n. 1, 2018, p. 30-38.  
<https://doi.org/10.15446/acag.v67n1.60901>
- MÁRQUEZ, EVELYN-ROSA. Enfermedades. Conjunto Tecnológico para la Producción de Calabaza. Colegio de Ciencias Agrícolas. Estación Experimental Agrícola. Río Piedras (Puerto Rico): Universidad de Puerto Rico, 2012.
- MEDEROS-TORRES, YULIEM; BERNABÉ-GALLOWAY, PATRICIA; RAMÍREZ-ARREBATO, MIGUEL. Películas basadas en polisacáridos como recubrimientos biodegradables y su empleo en la postcosecha de los frutos. *Cultivos Tropicales*, v. 41, n. 3, 2020, e09.
- MONTERO-RECALDE, MAYRA; MIRA, JUAN-CARLOS; AVILÉS-ESQUIVEL, DIANA; PAZMIÑO-MIRANDA, PILAR; ERAZO-GUTIÉRREZ, RAMIRO. Eficacia antimicrobiana del aceite esencial de tomillo (*Thymus vulgaris*) sobre una cepa de *Staphylococcus aureus*. *Revista investigación veterinaria del Perú*, v. 29, n. 2, 2018, p. 588-593.  
<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v29i2.14520>
- MOROCHO, MARIUXI; LEIVA-MORA, MICHEL. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, v. 46, n. 2, 2019.

- MUÑOZ-MONSALVE, CATALINA. Operaciones especiales y de conservación en la poscosecha de frutas y hortalizas. Cadena Agrícola: 2020. <https://doi.org/10.22490/notas.3533>. [consultado enero 2018].
- OIRSA. Guía para uso de cloro en desinfección de frutas y hortalizas de consumo fresco, equipos y superficies en establecimientos. Dirección Regional de Inocuidad de los Alimentos. junio de 2020. <https://www.oirsa.org/contenido/2020/Guia%20para%20uso%20de%20cloro%20como%20desinfectante%20en%20establecimientos%2023.06.2020.pdf>. [consultado octubre 2019].
- PACHÓN, A.; MONTAÑO, A.; FISCHER, G. Efecto del empaque, encerado y temperatura sobre las características fisicoquímicas y organolépticas de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*) en postcosecha. p. 72-78. En: Propiedades fisicoquímicas y sistemas de procesado: Productos hortofrutícolas en el desarrollo agroalimentario. Bogotá (Colombia): Editora Guadalupe, 2006.
- QUINTANILLA-MEDINA, J.J.; GARAY-MARTÍNEZ, J.R.; ALVARADO-RAMIREZ, E.R.; HERNÁNDEZ-MELÉNDEZ, J.; MENDOZA-PEDROZA, S.I.; ROJAS-GARCÍA, A.R.; JOAQUÍN-CANCINO, S.; HERNÁNDEZ-GARAY, A. Tiempo y temperatura sobre la pérdida de humedad y contenido de proteína en hojas de *Moringa oleifera* LAM. Agroproductividad, v. 11, n. 5, 2018, p. 88-92.
- SALOMÓN-CASTAÑO, JUAN; VILLARREAL-FUENTES, JUAN; FRANCO-MORA, OMAR; CASTAÑEDA-VILDÓZOLA, ÁLVARO; SÁNCHEZ-PALE, JESÚS. Resveratrol y 6-Bencil Amino Purina reducen la pérdida de firmeza y color en poscosecha de guanábana (*Annona muricata* L., Annonaceae). Acta Agrícola y Pecuaria, v. 6, n. 1, 2020, p. 1-9.
- SOLLIER, S.; ZACCARI, F.; MANDL, B. Elaboración del perfil y manual interpretativo de la norma de calidad de zapallos (*Cucurbita* sp). Montevideo (Uruguay): MGAP, 2005.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA–SEDE PALMIRA. Agenda de Noticias. Encuentran daños hongos en zapallo. Julio de 2011. <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/encuentran-daninos-hongos-en-zapallo.html>. [consultado marzo 2019].
- WILLS, R.; LEE, T.; GLASSON, M.C.; GRAHAM, D. Fisiología y Manipulación de Frutas y Hortalizas Post-Recolección. Zaragoza (España): Acribia, 1984.
- ZACCARI, F.; GALEAZZI, D.; RAHI, V. Efecto del tiempo de almacenamiento en condiciones controladas de temperatura sobre atributos físicos y químicos de zapallos “tipo kabutia” (*Cucurbita maximax* x *Cucurbita moschata*). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, v. 16, n. 1, 2015, p. 114-120.