

Procesamiento de Arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 5: Desarrollo de un Recubrimiento para la Conservación de Arveja (*Pisum sativum* L.)

Johana C. Andrade, Yamid A. Pinchao, Oswaldo Osorio y Diego F. Mejía

Universidad de Nariño, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario (GAIDA), San Juan de Pasto-Colombia. (e-mail: osorio_oswaldo@hotmail.com)

Recibido Sep. 15, 2015; Aceptado Nov. 16, 2015; Versión final Feb. 16, 2016, Publicado Oct. 2016

Resumen

Se evaluó la viabilidad del uso de un recubrimiento para la conservación de arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Andina en grano. El proceso comprendió una primera etapa de optimización de la formulación que estudió la proporción de almidón de yuca y de cera de laurel, las materias primas empleadas en la elaboración del recubrimiento. Con el fin de optimizar la formulación, se usó un diseño factorial 3^2 aleatorizado por bloques basado en la pérdida de peso como variable respuesta, por medio del programa estadístico Statgraphics Centurion XVI.II. La última etapa correspondió a la evaluación del efecto del recubrimiento obtenido, sobre la intensidad respiratoria, pérdida de peso, índice de color y firmeza de esta leguminosa. Para ello se usó un arreglo completamente al azar por comparación de medias de la prueba de Tukey (95 % de confiabilidad). Las muestras recubiertas presentaron una reducción en la pérdida de peso (28 %) y en el índice de respiración (20 %) con respecto a muestras testigo, conservando el color, y sin efecto significativo sobre la firmeza del grano.

Palabras clave: biopolímero; emulsión; vida útil; cera de laurel; almidón de yuca

Processing Peas (*Pisum sativum* L.) Part 5: Development of an Edible Coating Compound for the Conservation of Pea (*Pisum sativum* L.)

Abstract

The feasibility of using and edible coating for the conservation of pea grains (*Pisum sativum* L.) Andina cultivar. The process involved a first stage of optimization of the formulation that assessed the proportion of both cassava starch and laurel wax the raw materials used in the elaboration of the coating. To optimize the formulation a factorial design 3^2 randomized by blocks based on the weight loss as response variable was used, employing the statistical program Statgraphics Centurion XVI.II. The last stage corresponded to the evaluation of the effect of the coating on the respiratory rate, weight loss, color index and firmness of the legume. For this reason, a completely randomized design by a comparison means of Tukey test (95% confidence) was used. The coated samples showed a reduction in the weight (28%) and in the respiration rate (20%) compared to the control samples, preserving the color and without a significant effect on the grain firmness.

Keywords: polymer; emulsion; useful life; laurel wax; cassava starch

INTRODUCCIÓN

Durante décadas el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Colombia ha sido una de las fuentes económicas de mayor importancia para pequeños y medianos agricultores de la zona andina del país, concentrando la producción en Cundinamarca, Boyacá y Nariño (Zamorano et al., 2008). Para el 2014 el área cultivada se estimó en 31.225 ha cuya producción total ronda las 137.275 ton, siendo Nariño el principal productor con un promedio de 69.190 ton que representan el 50,4 % del total, superando ventajosamente a Cundinamarca que tuvo un 25,2 % y a Boyacá que alcanzó el 16,8 % de la producción para ese año (DANE, 2014). Sin embargo, a partir del momento de la cosecha el producto sufre pérdidas en cuanto a frescura, características físicas y valor nutritivo, cambios que se intensifican debido a daños mecánicos, almacenamiento inadecuado, manipulación y transporte incorrecto, traduciendo en pérdidas postcosecha para el departamento de Nariño que pueden alcanzar hasta un 42.1 % del total cosechado (CODECYT, 2004); convirtiéndose en un problema bastante relevante para la economía de la región y sobretodo para las 21.600 unidades productivas de esta leguminosa, puesto que representa un estimado anual de 9,8 millones de dolares.

Como respuesta a esta problemática existen diferentes alternativas de solución propuestas desde el sector agroindustrial, entre ellas se encuentra la aplicación de recubrimientos capaces de proteger el producto de los factores externos que intensifican su deterioro. Los recubrimientos comestibles se caracterizan por ser una fina capa polimérica que se forma directamente sobre el producto, se elaboran a partir de materiales renovables, biodegradables y de origen natural (Soares et al., 2009; Velazco et al., 2012), generando una interacción efectiva con el producto, de manera que se realiza una modificación adecuada de los gases internos sin afectar las características sensoriales del mismo (Guilbert et al., 1996; Giancone et al., 2009).

Estas ventajas han hecho que en los últimos años se haya incrementado el estudio de diferentes recubrimientos, al ser una alternativa natural e innovadora para la conservación de la calidad global de los alimentos, en especial de productos susceptibles al deterioro, como los pertenecientes a la cadena hortofrutícola, los cuales, tienen un periodo de vida postcosecha limitado debido a fenómenos fisiológicos como transpiración y respiración, que conllevan daños en la calidad de los mismos (Soares et al., 2011). De este modo, el mecanismo de acción de los recubrimientos se basa en la generación de una barrera ante la pérdida de humedad y el intercambio de gases como el oxígeno y el dióxido de carbono, retardando así el deterioro (Navarro, 2007; Soares et al., 2011), además constituyen un vehículo efectivo de compuestos bioactivos como antimicrobianos, antioxidantes, pigmentos y aromas que pueden incorporarse directamente en la matriz polimérica o pueden ser encapsulados (Desorby y Debeaufort, 2012).

Los recubrimientos comestibles se desarrollan a partir de polisacáridos, proteínas y lípidos, siendo la composición determinante en las características funcionales del recubrimiento obtenido, pueden manejarse a partir de constituyentes únicos o en mezclas, todo con el fin de aprovechar las propiedades de cada compuesto y la sinergia entre ellos (Altenhofen et al., 2009). Es así como las proteínas y polisacáridos generalmente forman películas con buenas propiedades mecánicas pero son barreras débiles frente a la humedad debido a la afinidad por el agua, hecho ligado a su naturaleza hidrofílica (Wang et al., 2014), problemática que no se presenta en los lípidos, especialmente en los que poseen cadenas alifáticas largas, alto grado de saturación, apolaridad significativa y puntos de fusión elevados tales como las ceras, no obstante la fragilidad de los recubrimientos lipídicos constituye un limitante para su uso (Morillon et al., 2002; Caceres et al., 2003; Chambi y Grosso, 2006; Ponce et al., 2008; Altenhofen et al., 2009; Bosquez et al., 2010; Enríquez et al., 2012a; Chiumarelli y Hubinger, 2014; Fabra, et al., 2012; Janjarasskul, et al., 2014;).

En este sentido, la aplicabilidad del recubrimiento es resultado de un balance entre funcionalidad y versatilidad, destacando así la importancia de las propiedades mecánicas, siendo estas las que definen la capacidad para formar capas uniformes y estables que se adapten a los cambios de forma y volumen generados por los fenómenos fisiológicos que experimentan los productos que protegen, razón que abre la puerta al desarrollo de formulaciones combinadas que asocian una matriz estructural hidrofílica y un compuesto hidrofóbico con aditivos como plastificantes, emulsificantes y tensoactivos, dando lugar a recubrimientos compuestos (Chiumarelli y Hubinger, 2014),

Entre los recubrimientos compuestos se encuentran los bicapa y los emulsificados, en un sistema compuesto de dos capas, el lípido forma la segunda capa ubicada sobre la del polisacárido o proteína, mientras que en la estructura emulsificada, el lípido se dispersa en la matriz del biopolímero (Galus y Kadzinska, 2015). La principal desventaja de los sistemas bicapa radica en la técnica de preparación puesto que requiere cuatro etapas: dos de fundición y dos de secado, además tiende a la deslaminación desarrollando agujeros o grietas que generan falta de uniformidad y cohesión en la superficie con el paso del tiempo, por su parte los recubrimientos emulsificados se obtienen mediante una solución formadora única y un proceso de secado, sus propiedades dependen de las técnicas de preparación, tipo, cantidad y

compatibilidad entre componentes, así como de la organización microestructural (Fabra et al., 2011). Caled et al. (2013) muestran que recubrimientos compuestos emulsificados ejercen un efecto control sobre los fenómenos de desorción y absorción de agua causantes de generar ambientes que favorecen el desarrollo de microorganismos, aumento de la actividad enzimática y movilidad de los reactivos de oxidación además de propiciar la pérdida de flexibilidad, dureza y peso en productos alimenticios de origen agrícola, hechos ligados a las fuertes pérdidas económicas en el sector; es por ello que este tipo de recubrimientos han sido ampliamente utilizados para la conservación de frutas y hortalizas.

Estudios relacionados muestran la aplicación de diferentes recubrimientos emulsificados en la extensión del periodo de vida útil de frutas, Velickova et al. (2013) reportaron que revestimientos a base de quitosano y cera de abejas tienen un impacto positivo en la reducción de la pérdida de peso, la tasa de respiración, la retención de firmeza, color, acidez, pH, sólidos y azúcares solubles en fresa, resultados que también se observaron para mandarinas recubiertas con hidroxipropilmetilcelulosa y cera de abejas (Navarro-Tarazaga et al., 2008). Perez-Gago et al. (2006) analizaron el efecto de los recubrimientos de proteína de lactosuero y cera de abejas en manzanas recién cortadas, obteniendo una reducción en el índice de coloración, lo que indica que el recubrimiento disminuyó el pardeamiento enzimático, un recubrimiento similar se probó en uchuva logrando una reducción en la pérdida de peso para condiciones ambientales y de refrigeración (Lopez et al., 2016), mientras que un recubrimiento a base de almidón de yuca, quitosano y aceite esencial de *Lippia gracilis* Schauer, se utilizó en guayaba, obteniendo un aumento en la vida útil de la fruta recubierta al reducir significativamente la pérdida de peso y acidez titulable además de generar un efecto antimicrobiano (Bezerra et al., 2014). De la misma manera se han aplicado revestimientos compuestos en hortalizas, Kowalczyk y Pikula (2010) reportaron la aplicación de revestimientos a base de proteína de arveja y cera candelilla sobre coles de Bruselas generando una reducción en la pérdida de peso y la conservación de vitamina C, polifenoles y firmeza durante el almacenamiento. La misma formulación se utilizó en brócoli obteniendo valores más altos de vitamina C y menor ablandamiento de la textura durante el almacenamiento.

La gran variedad de estudios realizados indica que la búsqueda de materias primas que conformen la matriz estructural de los recubrimientos es un desafío constante para la ciencia, es por ello que probar nuevo material ambientalmente amigable marca la continuidad en el desarrollo de esta área; es así como la cera obtenida del Laurel *Morella pubescens* (H&B ex Willd-Wilbur) ha sido probada recientemente como constituyente de recubrimientos, presentando una primera inclusión como sustituto de la parafina en quesos madurados (Mosquera y Ortega, 2002) y posteriormente como componente lipídico de un recubrimiento emulsificado evaluado sobre la calidad de tomate de árbol (Andrade et al., 2014), obteniendo resultados prometedores debido a las características generales de esta cera, origen, forma de extracción y composición, factores que hacen de éste un material natural de aplicación viable dentro de la elaboración de recubrimientos, ya que se ajusta a los requerimientos actuales que buscan materias primas seguras y sustentables.

Bajo este contexto la presente investigación buscó la obtención de un recubrimiento compuesto emulsificado elaborado a partir de almidón de yuca y cera de Laurel para la conservación de la calidad de arveja (*Pisum sativum* L.) de la variedad Andina en grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Andina, proveniente del Centro Internacional de Producción Limpia LOPE, SENA Regional Nariño, ubicado a 2.650 msnm con una temperatura promedio de 13 °C y una precipitación promedio anual de 700 mm; el material fue cosechado a los 5 meses de establecimiento del cultivo llevado al laboratorio de calidad y conservación de alimentos de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial (Universidad de Nariño) sede Torobajo Pasto, localizada a 2.527 msnm, con temperatura promedio de 14 °C y una humedad relativa de 70 %, ahí se procedió a la inmediata obtención del grano, el cual fue seleccionado y clasificado de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 1250 como arveja fresca de calidad a1 con un diámetro promedio de 8,73 mm.

Los materiales empleados en la elaboración del recubrimiento fueron: almidón de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) nativo variedad M Bra 12, cera de laurel (con las siguientes características: Índice de saponificación: 235,2; Índice de ester: 205,4; Índice de yodo: 1,1 (Medina y Lopez, 2003)) suministrada por el grupo de investigación PIFIL, de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, agua des-ionizada, glicerol y Tween 80 (monoestearato de sorbitan etoxilado). Todas las pruebas se realizaron en el laboratorio de conservación y calidad de alimentos de la Universidad de Nariño. Esta investigación se desarrolló en dos etapas, la primera que comprende la formulación y optimización del recubrimiento y la segunda en la que se evaluó el recubrimiento obtenido sobre diferentes variables de calidad de arveja variedad andina en grano.

Formulación y elaboración del recubrimiento

Se estudiaron nueve formulaciones, en las que se evaluaron dos factores en tres niveles, los factores fueron: porcentaje de material coloidal (almidón de yuca) y porcentaje de material lipídico (cera de Laurel), cuyas cantidades fluctuaron dentro de límites funcionales establecidos mediante pruebas preliminares, codificados como -1, 0 y 1, representando respectivamente 1%, 2% y 3%, para almidón y 0,2%, 0,6% y 1% para cera de Laurel. Las pruebas preliminares se basaron en estudios de observación que establecieron los rangos de trabajo apropiados para cada uno de los factores, teniendo en cuenta la estabilidad y uniformidad del revestimiento, hechos ligados a la compatibilidad de los componentes.

Los recubrimientos se prepararon con la siguiente metodología; el primer paso fue la dilución del almidón de yuca en agua destilada precalentada a 85 °C (temperatura que se mantuvo durante todo el proceso) bajo agitación constante mediante un homogeneizador Análogo D160 a 18.000 rpm por 15 minutos, tiempo en el cual se alcanzó la gelificación o coagulación térmica, mecanismo de elaboración de la matriz hidrocoloide del recubrimiento, tras este paso, se adicionó el glicerol al 3 %, finalmente se integró la cera de laurel en forma líquida mezclada con Tween 80 al 4 % respecto al material lipídico, la agitación continuó durante 5 minutos más para dar lugar a una emulsión homogénea y estable, siendo este el resultado de la interacción generada entre los componentes no polares que conforman los diferentes tratamientos, la acción del emulsificante (Tween 80) que actúa reduciendo la tensión interfacial entre compuestos insolubles y la fuerza mecánica de la agitación que juega un papel vital en la emulsificación de la solución formadora del recubrimiento (Andrade et al., 2014).

Los diferentes revestimientos elaborados se aplicaron sobre arveja en grano a través de inmersión durante 15 minutos a una temperatura de 20 °C y un posterior secado con aire forzado a temperatura ambiente (18 °C) mediante un secador de bandejas, finalmente se empacaron en bolsas de polietileno de baja densidad de 100 g cada una. La optimización de la formulación y el análisis estadístico, se realizó mediante un diseño factorial 3², aleatorizado por bloques con 4 repeticiones por cada una de las nueve opciones, teniendo un total de 36 muestras experimentales, analizadas a través de la Metodología de Superficie de Respuesta MSR con el programa Statgraphics Centurion XVI.II. La variable respuesta estudiada, fue la pérdida de peso, obtenida por método gravimétrico, seleccionada por su importancia en la calidad de esta leguminosa, puesto que interviene directamente sobre características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas que inciden sobre la calidad y el precio de venta de este producto.

Posteriormente se obtuvo la viscosidad del recubrimiento optimizado utilizando el Reómetro Brookfield DV3T- punta 63, evaluado a 12 rpm y 20 °C, datos que fueron ajustados al modelo de Ostwald de Waele o Ley de la potencia con un 99% de confianza.

$$\sigma = k\dot{\gamma}n \quad (1)$$

Donde, σ es el esfuerzo de corte en la interfase del fluido y el elemento que produce el esfuerzo; k es el coeficiente de consistencia; $\dot{\gamma}$ es la velocidad de corte o deformación en la interfase, y n es el índice de flujo. De manera que los valores k y n describen el comportamiento del fluido.

Evaluación del recubrimiento sobre la calidad de la arveja

La efectividad de la formulación optimizada fue evaluada sobre la calidad de arveja en grano de la variedad Andina en tres condiciones diferentes: ambientales (T:18± 2 °C y HR:60 ± 3 %), refrigeración (T:4± 2 °C y HR:68 ± 3 %) e Incubación (T:28± 2 °C y HR:60 ± 3 %) mediante pruebas realizadas durante cinco días para las variables intensidad respiratoria, pérdida de peso, firmeza y color. La intensidad respiratoria se determinó en un ambiente previamente purgado y herméticamente cerrado, utilizando el Medidor de CO₂ Lutron GC 2028, equipo que lee el contenido de dióxido de carbono dentro de la cámara mediante la señal que capta de un electrodo. La tasa de respiración se estima a través de la fórmula 2, determinada mediante estequiometría.

$$IR = \frac{1,8 (CO_2f - CO_2i) * 0,001 * V}{m * t} \quad (2)$$

En esta ecuación, V es el volumen del recipiente (L), M es la masa de la muestra (Kg) y t es el tiempo de evaluación (h)

La pérdida de peso se evaluó por método gravimétrico, utilizando una balanza analítica OHAUS serie Pioneer PA214 con precisión de 0,1 mg. La firmeza se determinó utilizando un texturometro LLOYD LS1,

con una punta cilíndrica de 5 mm de diámetro y una celda de carga de 50 Kg a una velocidad de 21 mm/min hasta un límite de deformación de 5 mm. El color se evaluó a través de un Espectrofotómetro KONICA MINOLTA CM-5 mediante el sistema CIELAB reportado por Latorre et al. (2014).

Diseño experimental.

Se evaluaron muestras de arveja recubierta y no recubierta (testigo) mediante un diseño experimental irrestrictamente al azar día con prueba de comparación de medias de Tukey al 95 % de confiabilidad, con tres replicas para las variables intensidad respiratoria y pérdida de peso y diez para firmeza y color. Los resultados se estudiaron con el programa estadístico InfoStat/E

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Optimización del recubrimiento

La tabla 1., indica el efecto significativo de cada uno de los factores evaluados como el de sus interacciones sobre la variable pérdida de peso, demostrando que los dos componentes base de las formulaciones del recubrimiento generan cambios en la superficie del grano, puesto que forman una capa protectora que impide la pérdida acelerada de vapor de agua y por ende las tasas de reducción de peso disminuyen. De manera que el revestimiento adherido a la superficie del producto evita el contacto directo del mismo con el medio, siendo una estructura dinámica que se adapta a los cambios de forma del producto y ejerce una función de barrera semipermeable al vapor de agua y a los gases, controlando de esta manera los cambios metabólicos.

Tabla 1: Análisis de Varianza para pérdida de peso

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Hidrocoloide	0.843	1	0.843	6.73	0.014
B: M. Lipídico	0.668	1	0.668	5.33	0.028
AA	7.797	1	7.797	62.25	0.000
AB	0.807	1	0.807	6.44	0.017
BB	4.178	1	4.178	33.36	0.000
Error total	3.757	30	0.125		

La superficie de respuesta estimada (Fig. 1) muestra la interacción de los dos factores estudiados y el efecto conjunto que ejercen sobre el porcentaje de pérdida de peso de arveja en grano, del cual se deduce que para minimizarlo se debe llevar los factores a un punto medio y no a los extremos teniendo en cuenta los intervalos manejados para cada uno de ellos, esto probablemente se debe a que cantidades menores no pueden formar una capa lo suficientemente efectiva para proteger el producto, mientras que cantidades superiores generan una sobresaturación en la superficie del grano que acelera la deshidratación, en el caso específico de los lípidos también debe considerarse que cantidades excesivas del mismo llevan a la desestabilización de la matriz del recubrimiento, puesto que este hecho genera incompatibilidad entre los componentes y genera una posterior agregación de los mismos, formando zonas con diferente resistencia mecánica y baja cohesión (Galus y Kadzinska, 2015).

El proceso de optimización enlazado a la superficie de respuesta indica los valores exactos a los que se debe llevar la formulación para minimizar la pérdida de peso en arveja, en este caso el material coloidal y lipídico debe trabajarse en niveles de 0,11 y -0,13 valores que corresponden a 2,11 % y 0,55 % respectivamente, siendo el almidón el encargado de la estructura del recubrimiento, mientras que la cera de Laurel se distribuye uniformemente en ella generando una barrera efectiva frente a la humedad debido a su elevada hidrofobicidad, siendo los ácidos grasos saturados mirístico y el palmito sus principales componentes (Medina y Lopez, 2003) .

El recubrimiento resultado del proceso de optimización mediante MSR es un fluido no newtoniano, presentó un índice de flujo ($n = 0,74$), que corresponde a fluidos pseudo plásticos, mientras que el índice de consistencia ($k = 78,42$ cP) es un indicador de la naturaleza viscosa del sistema según datos ajustados al modelo de Ostwald de Waele. Estos resultados pueden contrastarse con los reportados por Bello *et al.* (2014) Para soluciones de almidón de plátano (*Musa* ABB) al 1%, fluido que presentó valores de 0,72 y 32,5 cP, para los índices n y k , respectivamente; resultados lógicos si se considera la cantidad de almidón (2,11 %) utilizado en el presente RC, además del resto de sus componentes como cera de Laurel y aditivos, probables responsables del incremento en el valor de k relacionado directamente a la viscosidad del sistema obtenido, valores de importancia para predecir la adhesividad del recubrimiento a la superficie del producto de aplicación.

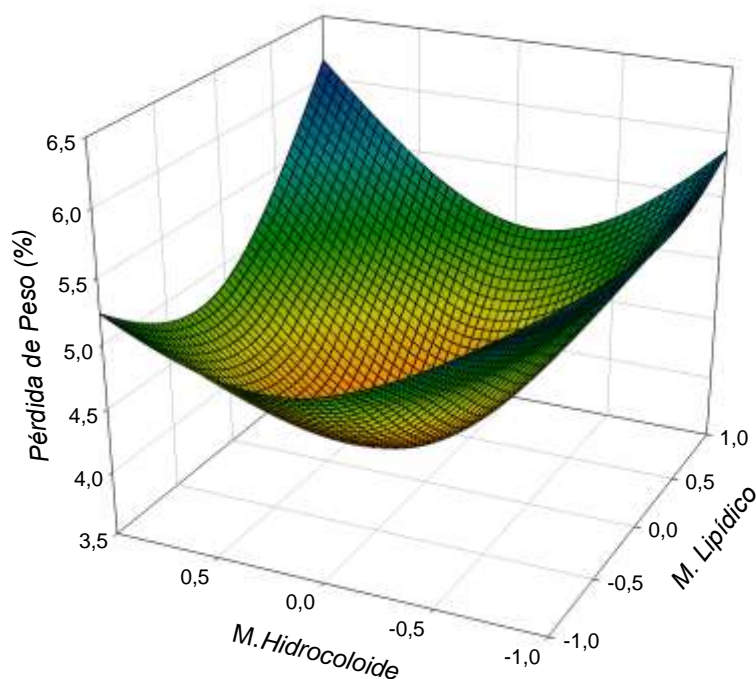


Fig. 1: Superficie de respuesta estimada para porcentaje pérdida de peso

Evaluación del recubrimiento sobre la calidad de la arveja

Pérdida de peso: La pérdida de peso de las muestras de arveja recubierta con respecto a las muestras testigo se redujo en los tres ambientes probados, revelando reducciones del 28 % tanto en medio ambiente como en incubación y 35 % en refrigeración (Fig. 2). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Heredia *et al.* (1999), Báez *et al.* (2002), Chiumarelli y Hubinger (2014) quienes encontraron que el uso de cubiertas cerosas reduce la pérdida de peso debido a la capa protectora que se forma en la superficie del material que es recubierto, cuya naturaleza altamente apolar está ligada a una barrera efectiva frente al vapor de agua, siendo la cera de Laurel un material que cumple con dichas características debido a su composición.

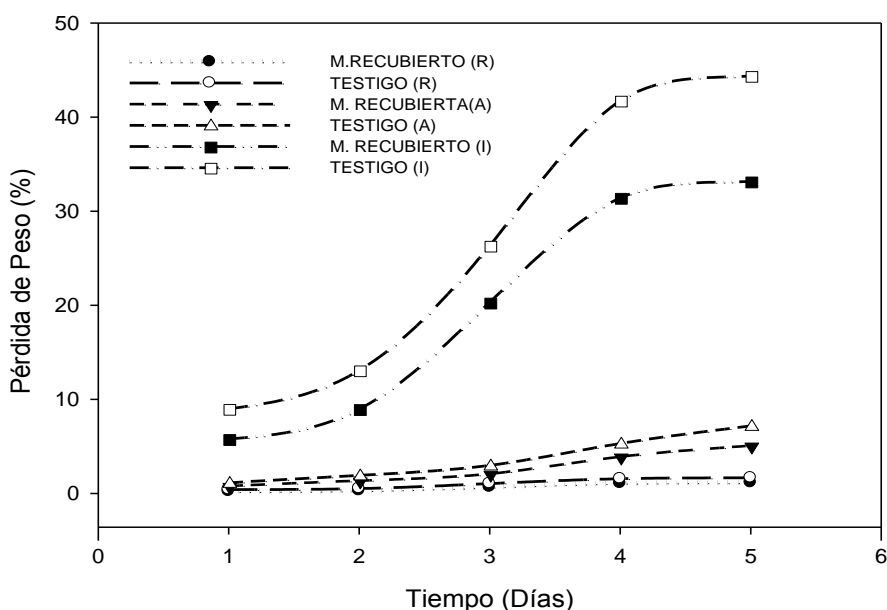


Fig. 2: Pérdida porcentual de peso en arveja Andina en grano evaluada en tres ambientes: (R) refrigerado, (A) condiciones ambientales e (I) Incubación

El uso de cera de Laurel y el almidón de yuca, como componentes de recubrimientos ha sido comprobado anteriormente por Andrade *et al.* (2014), quienes demostraron la funcionalidad de un recubrimiento

elaborado a partir de estas dos materias primas sobre la calidad del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.), en cuyo caso se redujo la pérdida de peso en un 25 % con respecto a las muestras testigos en condiciones ambientales.

Intensidad Respiratoria IR: La arveja presentó índices de respiración elevados con respecto a otros productos hortofrutícolas como el tomate de árbol (Andrade et al., 2014) y la uchuva (Lopez et al., 2016) superando aproximadamente en 8 y 5 veces respectivamente los valores alcanzados por estos productos, esto en relación al tamaño del grano que implica un área superficial de intercambio gaseoso mayor que genera problemas a nivel de comercialización ya que además de acelerar todos los procesos de degradación, este factor está ligado a las condensaciones al interior de los empaques, efecto que propicia el desarrollo de ambientes con condiciones apropiadas para el crecimiento de hongos, de manera que el control sobre el proceso fisiológico es vital en la búsqueda de recubrimientos que protejan la calidad e inocuidad del producto.

La intensidad respiratoria de las muestras de arveja recubierta con la formulación optimizada se redujo en promedio 20% con respecto a la muestra testigo (Fig. 3) tanto para condiciones ambientales como de refrigeración con una diferencia significativa (Valor-p < 0,5) para cada uno de los días de estudio, demostrando la capacidad del recubrimiento de comportarse como una capa semipermeable a los gases como el oxígeno y el dióxido de carbono. Al comparar estos índices en condiciones ambientales y en refrigeración, se comprueba el efecto de desaceleración que tienen las bajas temperaturas sobre los procesos metabólicos.

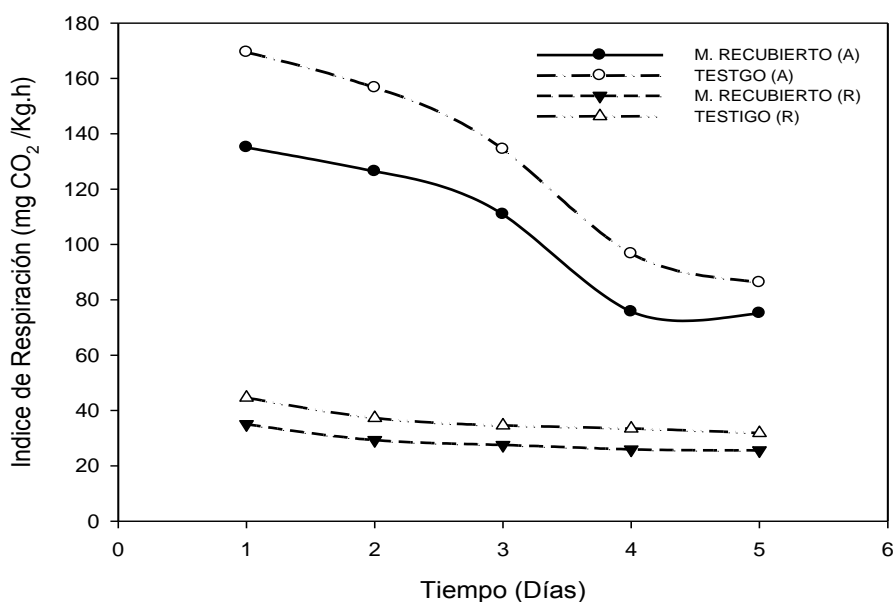


Fig. 3: Intensidad respiratoria de arveja Andina en grano en condiciones ambientales y refrigeradas

Un caso particular se presentó en condiciones de incubación (Fig. 4), durante los primeros días de estudio las muestras con recubrimiento redujeron su intensidad respiratoria respecto a los testigos, sin embargo llegó un punto en que los valores para ambos tratamientos se igualaron y la IR de la arveja recubierta comenzó a ser superior, esto como resultado de las condiciones a las que se sometió el producto, puesto que la alta temperatura y baja humedad relativa, hicieron que los testigos se secaran rápidamente, de manera que al volverse granos secos bajaron su IR aún más que las muestras con tratamiento que aún se conservaban frescas

Estos resultados se comparan con los obtenidos con otros recubrimientos emulsificados a base de cera de abejas en ciruela (Navarro et al., 2007) y cera carnauba en fresa (Restrepo et al., 2009), en los que se alcanzaron reducciones en el índice de respiración del 10 % y del 43 %, respectivamente. Mientras que en un recubrimiento a base de almidón de yuca y cera de Laurel probado sobre tomate de árbol la reducción fue de un 30 % (Andrade et al. 2014), mostrando que los revestimientos emulsificados logran disminuir la actividad respiratoria al actuar como barrera al intercambio gaseoso del producto con el ambiente, efecto que se consigue con una buena distribución de componentes y una adecuada cohesión estructural determinada por la compatibilidad de constituyentes y un método apropiado de elaboración.

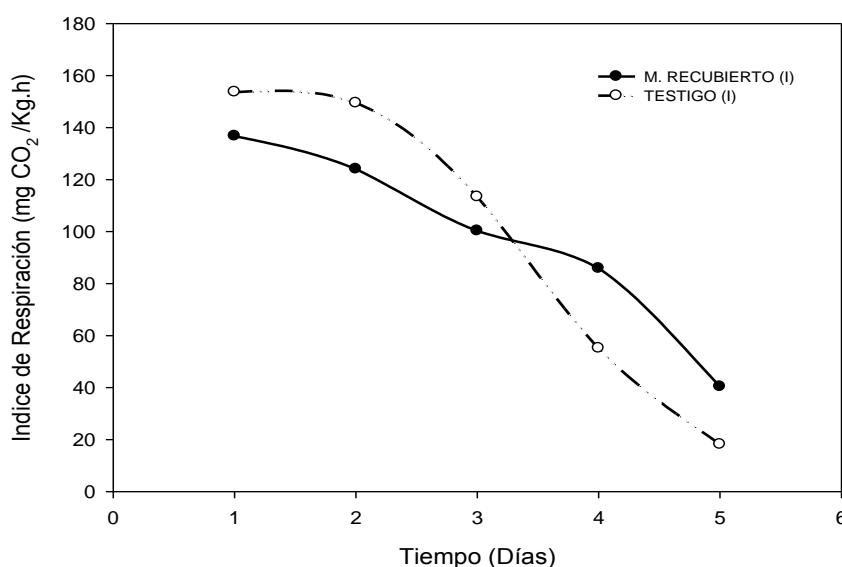


Fig. 4: Intensidad respiratoria de arveja Andina en grano en condiciones de incubación

Firmeza: La firmeza de la arveja tuvo un incremento gradual en los días debido a la deshidratación experimentada ante la transición de grano fresco a seco, el cual cuenta con una mayor concentración de sólidos y por lo tanto mayor dureza. Las muestras recubiertas presentaron valores inferiores con respecto a los testigos en condiciones ambientales y de incubación (Fig. 5), sin embargo los resultados indican que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, excepto en condiciones de incubación donde se refleja una amplia diferencia entre material recubierto y testigo, como consecuencia de la barrera frente al vapor de agua obtenida en la superficie del grano en presencia del revestimiento, evitando así el endurecimiento acelerado del mismo como ocurrió en las muestras testigo.

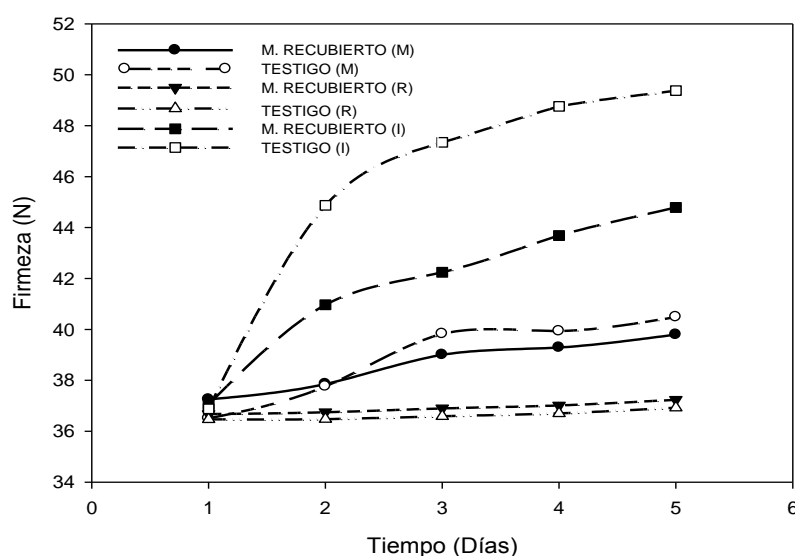


Fig. 5: Firmeza de arveja variedad Andina en grano evaluada en tres ambientes: (R) refrigerado, (A) condiciones ambientales e (I) Incubación

Índice de Color IC: Los cambios en la coloración del producto están ampliamente influenciados por la actividad respiratoria, la temperatura, la luz y el oxígeno; es así como se explica la conservación del color en las condiciones de refrigeración tanto para muestras recubiertas como testigo, puesto que además de manejar bajas temperaturas las muestras se mantuvieron en ausencia de luz reduciendo el índice de respiración hecho que desacelera las modificaciones fisiológicas del grano. Por su parte las condiciones ambientales y de incubación permiten observar claramente los efectos positivos del recubrimiento sobre esta variable al conservar por mayor tiempo la coloración verde característica de la arveja fresca variedad Andina comprendida en el rango de IC entre -5 y -2, por encima del cual se presenta un color amarillo verdoso observado en muestras testigo tanto para medio ambiente como incubado (Fig. 6), siendo probablemente el resultado de la degradación de la clorofila a feofitina, con la subsecuente obtención de feoforbidos y clorinas (Escobar et al., 2014).

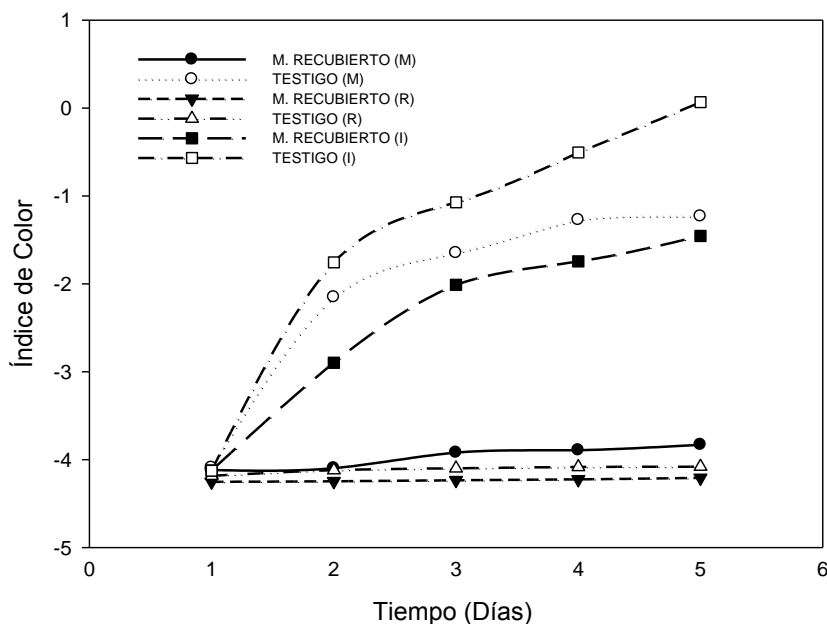


Fig. 6: Índice de Color en arveja de la variedad Andina evaluada en tres ambientes: (R) refrigerado, (A) condiciones ambientales e (I) Incubación

CONCLUSIONES

El presente estudio generó un recubrimiento compuesto emulsificado a base de 2,11 % almidón de yuca y 0,55 % cera de Laurel, proporciones optimizadas con el objetivo de minimizar la pérdida de peso de arveja en grano, siendo este un problema neuralgico en la calidad del producto y la economía de sus productores.

El recubrimiento redujo la pérdida de peso en arveja en un 28 % tanto para condiciones ambientales como de incubación y en un 35 % para refrigeración, debido a la barrera hidrofóbica que constituye, resultado de contener en su estructura un lípido altamente saturado como es la cera de Laurel.

La intensidad respiratoria fue controlada en muestras recubiertas tanto en condiciones ambientales como en refrigeración, reduciendo en un 20 % su valor con respecto a las muestras sin recubrir, debido a la modificación de la permeabilidad de la superficie del grano ante los gases como oxígeno y dióxido de carbono.

El recubrimiento solo presentó diferencias significativas en cuanto a la firmeza de granos evaluados en condiciones de incubación, alcanzando una reducción del endurecimiento aproximadamente de 10 %.

La coloración verde de la arveja fue conservada por el recubrimiento como resultado indirecto de la barrera a la humedad y a los gases que éste dispone sobre el grano, retardando las modificaciones fisiológicas del producto, dentro de las que se relaciona el color.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones, Postgrados y Relaciones Internacionales VIPRI de la Universidad de Nariño, al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación COLCIENCIAS a través del programa Jóvenes Investigadores e Innovadores y al Sistema General de Regalías SGR.

REFERENCIAS

Altenhofen, M., Krause, A., Guenter, T., Alginate and pectin composite films crosslinked with Ca^{2+} ions: Effect of the plasticizer concentration, *Carbohydrate polymers*, 77, 736-742 (2009)

Andrade, J., Acosta, D., Bucheli, M., Osorio, O., Desarrollo de un recubrimiento comestible compuesto para la conservación del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* S.), DOI: 10.4067/S0718-07642014000600008, *Información Tecnológica (En línea)*, 25(6) (2014)

- Báez, R., Saucedo, C., Pérez, B., Bringas, E., Mendoza, A., Efecto de la aplicación de cera comestible y agua caliente sobre la conservación de melón reticulado, *Fitotecnia Mexicana*, 25(4), 375-379 (2002)
- Bello, J., Balois, R., Sumaya, M., Juárez, P., Rodríguez, A., Sánchez, L., Jiménez, E., Extracción y caracterización reológica de almidón y pectina en frutos de plátano 'Pera' (*Musa ABB*), *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8,1501-1507 (2014)
- Bezerra, A., Fitzgerald, A., Lins, L., Impact of edible chitosan–cassava starch coatings enriched with *Lippia gracilis* Schauer genotype mixtures on the shelf life of guavas (*Psidium guajava* L.) during storage at room temperatura, DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.08.077, *Food Chemistry (En línea)*, 171, 108-116 (2014)
- Bosquez M., Tomás, S., Rodríguez, M., Influence of CaCl₂ on the water vapor permeability and the surface morphology of mesquite gumbased edible films, *LWT-Food Science and Technology*, 43, 1419- 1425 (2010)
- Caceres, I., Martinez, J., Cuquerella, J. Del Rio, M., Navarro, P., Influencia del encerado en la calidad de la mandarina "Clemenules" procedente de sistemas de producción integrada, *Rev. Iberoamericana de tecnología postcosecha*, 5, 113-116 (2003)
- Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Al-Said, F. A., y Opara, U. L., Transpiration rate and quality of pomegranate arils as affected by storage conditions, *CYTA e Journal of Food*, 11(3), 199-207 (2013)
- Chambi, H., Grosso, C., Edible films produced with gelatin and casein cross-linked with trans glutaminase, *Food Research International*, 39, 458-456 (2006)
- Chiumarelli, M., Hubinger, M., Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid, *Food hydrocolloids*, 38 (2014)
- Consejo Departamental de Ciencia y Tecnología (CODECYT), Diagnostico prospectivo de la postcosecha de hortalizas en Nariño, Pasto: SENA-Colciencias (2004)
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Encuesta Nacional Agropecuaria ENA Nariño) (2014)
- Desorby, S., Debeaufort, F., Encapsulation of flavors, nutraceuticals, and antimicrobials., *Edible coatings and films to improve food quality*, 2 333-372, (2012)
- Enríquez, M., Velasco, R., Ortiz, V., Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón, *Revista de biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 10(1), 182-192 (2012)
- Escobar, A., Márquez, C., Restrepo, C., Cano, J., Patiño, J., Application of heat treatment, edible coating and chemical dip as postharvest treatments for the conservation of fresh-cut vegetables, *Acta Agronómica*, 63 (1), 1-10 (2014)
- Fabra, M. J., Talens, P., Gavara, R., y Chiralt, A., Barrier properties of sodium caseinate films as affected by lipid composition and moisture content, *Journal of Food Engineering*, 109(3), 372-379 (2012)
- Galus, s. y Kadzinska, J., Food applications of emulsion-based edible films and coatings , *Trends in Food Science & Technology*, 45, 273-283 (2015)
- Giancone, T., Torrieri, E., Masi, P., Michon, C., Protein-polysaccharide interactions: Phase behaviour of pectin-soy flour mixture, *Food Hydrocolloids*, 23,1263-1269 (2009)
- Guilbert, S., Gontard, N., & Gorris, L., Prolongation of the shelf-life of perishable food products using biodegradable films and coatings, *Lebensmittel Wissenschaft and Technology*, 29, 10-17 (1996)
- Heredia, J., Contreras, L., Siller, J., Efectos del uso de ceras comestibles sobre la maduración postcosecha en papaya cv. Maradol, VIII Congreso de Horticultura, 216, Manzanillo-Colima, México (1999)
- Janjarasskul, T., Rauch, D., McCarthy, K., y Krochta, J., Barrier and tensile properties of whey proteinecandelilla wax film/sheet. *LWT e Food Science and Technology*, 56, 377-382 (2014)

- Kowalczyk, D., Pikula, E., Effect of edible protein wax coating on storage quality of table grapes (*Vitis vinifera* L.), Food. Science, Technology. Quality., 5(72), 67-76 (2010)
- Latorre, L., Mejía, D., Osorio, O., Influencia del Almacenamiento sobre la Calidad Postcosecha de dos Nuevas Variedades de Arveja (*Pisum sativum* L.): Alcalá y Sureña, Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 67 (2), 34-35 (2014)
- López, D., Cuatin, L., Andrade, J., Osorio, O. Evaluation of an edible coating based whey protein and beeswax on the physical and chemical quality of gooseberry (*Physalis peruviana* L.), Acta agronomica, 65(4), 1-26 (2016)
- Medina, A., y Lopez, D., Caracterización química de los principales componentes de la cera de Laurel (*Myricapubescens* H.B.K.) que se cultiva en el departamento de Nariño, Tesis de pregrado, Facultad de ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Química, Universidad de Nariño, Pasto-Colombia (2003)
- Morillon, V., Debeaufort, F., Bond, G., Capelle, M., Volley, A., Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 42(1), 67-89 (2002)
- Mosquera, S. y Ortega, A., Evaluación de la cera de laurel (*Myrica Pubescens*) en el recubrimiento de quesos maduros, Tesis pregrado, Facultad Ciencias Pecuarias, Programa Zootecnia, Universidad de Nariño, Pasto-Colombia (2002)
- Navarro, M., Efecto de la composición de recubrimientos comestibles a base de hidroxipropilmetilcelulosa y cera de abeja en la calidad de ciruelas, naranjas y mandarinas, Tesis Doctoral, Dpt. Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica De Valencia, Valencia-España (2007)
- Navarro-Tarazaga, M., Del Río, M., Krochta, J., Perez-Gago, M., Fatty acid effect on hydroxypropyl methylcellulose beeswax edible film properties and postharvest quality of coated 'Ortanique' mandarin, Journal of Agriculture and Food Chemistry, 56, 10689-10696 (2008)
- Perez-Gago, M. B., Serra, M., & del Río, M. A., Color change of freshcut apples coated with whey protein concentrate based edible coatings, Postharvest Biology and Technology, 39(1), 84-92 (2006)
- Ponce, A. y Roura S., Del Valle C., Moreira M., Antimicrobial and antioxidant activities of edible coating enriched with natural plant extracts: in vitro and in vivo studies, Postharvest Biology and Technology, 49 (2), 294-300 (2008)
- Restrepo, J. y Aristizábal I., Conservación de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch cv. *Camarosa*) mediante la aplicación de recubrimientos comestibles de gel de mucilago de penca de sábila (*Aloe barbadensis* Miller) y cera de carnauba, Revista VITAE, ISSN: 0121-4004, 17(3), 252-263 (2009)
- Soares, N. F., Silva, W., Pires, A., Camilloto, G., Silva, P., Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos, Revista Ceres, 56, 370-378 (2009)
- Soares, N. F., Silva, W., Medeiros, E., Carelli, R., Espitia, P., Active packaging: new technologies for shelf-life extension, Italian Journal of Food Sciences, 23, 88-90 (2011)
- Velasco, R., Enrique, M., Torres, A., Palacios, L., Ruales, J., Caracterización morfológica de películas biodegradables a partir de almidón modificado de yuca, agente antimicrobiano y plastificante, Revista de biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 10(2), 152-159 (2012)
- Velickova, E., Winkelhausen, E., Kuzmanova, S., Alves, V. D., Moldao-Martins, M., Impact of chitosa beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv *Camarosa*) under commercial storage conditions. LWT e Food Science and Technology, 52(2), 80-92 (2013)
- Wang, Z., Zhou, J., Wang, X., Zhang, N., Sun, X., y Ma, Z., The effects of ultrasonic/microwave assisted treatment on the water vapour barrier properties of soybean protein isolate-based oleic acid/stearic acid blend edible films, Food Hydrocolloids, 35, 51-58 (2014)
- Zamorano, C.; López, H. Y Alzate, G., Evaluación de la competencia de arvenses en el cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) en Fusagasúga, Cundinamarca (Colombia), Rev. Agron. Col. 26(3): 443-450 (2008)

