

# Cambios fisiológicos de dos variedades de arveja almacenada en diferentes tipos de empaque y temperatura

## Physiological changes of two varieties of pea stored in different types of packing and temperature

Laura Inés Latorre-Vásquez<sup>1</sup>; Diego Fernando Mejía-España<sup>2</sup>; Oswaldo Osorio-Mora<sup>3</sup>; Óscar Eduardo Checa-Coral<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ing. Agroindustrial, M.Sc. Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario GAIDA, Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Nariño, sede Torobajo, Calle 18 Cra. 50, Edificio Tecnológico, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, e-mail: lilatorrev@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-6816-7793>

<sup>2</sup>Ing. Agroindustrial, M.Sc. Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario GAIDA, Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Nariño, sede Torobajo, Calle 18 Cra. 50, Edificio Tecnológico, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, e-mail: diegomejaes@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-6707-5803>

<sup>3</sup>Ing. Agroindustrial, Ph.D. Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario GAIDA, Facultad de Ingeniería Agroindustrial. Universidad de Nariño, sede Torobajo, Calle 18 Cra. 50, Edificio Tecnológico, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, e-mail: osorio\_oswaldo@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-0160-1815>

<sup>4</sup>Ing. Agrónomo, Ph.D. Grupo de Investigación en Cultivos Andinos GRICAND, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, sede Vipri, Cra. 36 No. 5-121, bloque 5, oficina 408, San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, e-mail: cicagrarias@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6929-7717>

Cómo citar: Latorre-Vásquez, L.I.; Mejía-España, D.F.; Osorio-Mora, O.; Checa-Coral, Ó.E. 2019. Cambios fisiológicos de dos variedades de arveja almacenada en diferentes tipos de empaque y temperatura. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 22(1):e116. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1166>

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

**Recibido:** Junio 18 de 2018

**Aceptado:** Febrero 9 de 2019

## RESUMEN

La arveja, una fuente económica para pequeños y medianos agricultores de la zona andina, evidencia un incipiente manejo pos-cosecha y un nulo nivel de transformación. Tras la cosecha y debido a su naturaleza temporal y perecedera, la arveja acelera su metabolismo, disminuyendo su calidad y vida útil. Una opción económica y que esté disponible para los productores y LOS comercializadores para conservar sus características es el uso de empaques y la refrigeración. El objetivo fue evaluar tipos de empaques (bolsa de polietileno de baja densidad –PE-LD-, envase plástico termoformado perforado –PE-HD- y bandeja de poliestireno –PS-) y temperaturas de almacenamiento (0°C, 4°C y 18°C) en dos variedades de arveja, Sureña y Obonuco Andina. Se utilizó un diseño irrestrictamente al azar con arreglo factorial 3x3x2, teniendo como factores

temperatura, empaque y variedad y como variables de estudio, las constantes cinéticas (K) de porcentaje de brotación, firmeza, pérdida de peso e índice de color. Los resultados mostraron que, para la brotación, se presentó el valor más bajo de K en Sureña, en PE-LD, a 0°C. La temperatura afectó la firmeza de los granos, conservándose a 0°C. La menor pérdida de peso se evidenció en PE-HD, a 0°C, independiente de la variedad. Para el índice de color, la K más baja se encontró en PS, a 0°C, en Obonuco Andina. Con la ecuación de Arrhenius en la variable índice de color, se estimó tiempos de vida útil de 13; 7; 5 y 2 días a temperaturas de 0°C, 6°C, 10°C y 24°C, respectivamente.

Palabras clave: constantes cinéticas; envases, *Pisum sativum* L.; pos-cosecha; vida útil.

## ABSTRACT

The pea, an economic source for small and medium farmers in the Andes zone, evidences an incipient postharvest handling and a null level of transformation. After the harvest and due to its temporary and perishable nature, the pea accelerates its metabolism, decreasing its quality and shelf life. An economic option that is available to producers and marketers to preserve their characteristics is the use of packaging and refrigeration. The objective was to evaluate types of packaging (low density polyethylene bag (PE-LD), perforated thermoformed plastic container (PE-HD) and polystyrene tray (PS)) and storage temperatures (0°C, 4°C and 18°C) in two pea varieties (Sureña and Obonuco Andina). An unrestricted random design with a 3x3x2 factorial arrangement was used, taking as factors temperature, packing and variety; and as study variables the kinetic constants (K) of percentage of sprouting, firmness, weight loss and color index. The results showed that, for the sprouting, the lowest value of K was shown in Sureña, in PE-LD at 0°C. The temperature affected the firmness of the grains, remaining at 0°C. The lowest weight loss was evidenced in PE-HD at 0°C, regardless of the variety. For the color index, the lowest K was found in PS at 0°C, in Obonuco Andina. With the Arrhenius equation in the variable color index, useful life times of 13; 7; 5 and 2 days were estimated at temperatures of 0°C, 6°C, 10°C and 24°C respectively.

Keywords: kinetic constants; packaging; *Pisum sativum* L.; postharvest; shelf life.

## INTRODUCCIÓN

La arveja (*Pisum sativum* L.) es una de las principales plantas cultivadas comestibles en el mundo (Amarakoon *et al.* 2012) y es utilizada como fuente de proteína, debido a su valor nutritivo. En Colombia, Nariño es el principal productor, cuenta con un área sembrada significativa, que representa el 55,2% de la producción nacional (Checa Coral *et al.* 2017). Es un producto que no puede ser almacenado por más de tres semanas, debido a que, a partir de la cosecha, se generan cambios en sus características físicas y valor nutritivo, los cuales, se intensifican por daños mecánicos y prácticas inadecuadas de almacenamiento, manipulación y transporte, que se traduce en pérdidas pos-cosecha y de frescura del producto (Andrade *et al.* 2016), que ascienden al 40% de la producción.

No es posible eliminar las pérdidas pos-cosecha por completo; sin embargo, se pueden reducir, si se conoce la naturaleza del producto cosechado y el uso de las tecnologías apropiadas (Espinosa-Torres *et al.* 2010). Una de las técnicas que permiten mantener la calidad de los productos es el uso de empaques plásticos y almacenamiento a temperaturas de refrigeración, que dependen del origen geográfico del producto y ejercen una acción modificadora sobre los procesos fisiológicos (Castro *et al.* 2003; Brasil & Siddiqui, 2018). Los empaques plásticos utilizados en alimentos están constituidos por materiales poliméricos derivados del petróleo, presentando ventajas en cuanto a su disponibilidad, bajo costo, ligereza, versatilidad y propiedades de barrera (Tharanathan, 2003), entre los cuales, se encuentran la bolsa de polietileno de baja densidad (PE-LD), enva-

se plástico termoformado con o sin perforado (PE-HD) y bandeja de poliestireno (PS), recubiertas con películas autoadheribles de policloruro de vinilo PVC. El uso de empaques, con permeabilidad al vapor de agua, según el calibre, permiten un intercambio gaseoso, lo que disminuye el nivel de oxígeno e incrementa el dióxido de carbono, mejorando así la conservación de los productos agrícolas (Castro *et al.* 2003). Por otro lado, el almacenamiento en refrigeración es un método que consiste en remover y minimizar el calor de los productos, proceso que permite mantener la calidad de los frutos, al reducir la intensidad respiratoria, la producción de etileno y la acción de enzimas degradantes y oxidativas (Muniz *et al.* 2017). Dichas técnicas son adecuadas para prolongar la vida útil de las frutas y hortalizas después de la cosecha, porque retarda la maduración y el deterioro al reducir la velocidad de los procesos metabólicos (Brasil & Siddiqui, 2018; Kyriacou & Rouphael, 2018).

El almacenamiento y la extensión de la vida útil están relacionados con la conservación de la calidad de los productos hortícolas frescos (Kyriacou & Rouphael, 2018), en donde la apariencia, el color y la textura son algunos de los factores de calidad, que influyen en la comercialización (Brasil & Siddiqui, 2018), en la escogencia y en la decisión de compra por los consumidores (do Nascimento, 2015). Los granos de arveja frescos, con brillo, firmes y con ausencia de brotes, favorecen la compra; sin embargo, los brotes de arveja han ido ganando popularidad y se han convertido, en parte importante de la dieta, debido a su valor nutritivo (Hajare *et al.* 2007). El proceso de brotación, se puede considerar como una herramienta económica, efectiva y simple para mejorar la calidad nutricional de las leguminosas (Swieca & Gawlik-Dziki, 2015).

Dada la importancia del cultivo de arveja, la presente investigación tuvo como propósito evaluar diferentes empaques y temperaturas de almacenamiento y que, de alguna manera, sean asequibles para los productores y los comercializadores, además sean tecnologías sencillas y económicas de aplicar para ellos, en dos variedades de arveja, Sureña y Obonuco Andina y caracterizar la respuesta de los granos frescos, con base en algunos atributos pos-cosecha, durante el tiempo de vida útil.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** La investigación, se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de Investigación en Conservación y Calidad de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño - sede Torobajo, Pasto (Nariño). La materia prima que se utilizó en la investigación fue arveja (*Pisum sativum* L.), variedades Sureña y Obonuco Andina, en grano verde fresco. La cosecha, se realizó en la Granja Lope del Sena, ubicada en el municipio de San Juan de Pasto, departamento de Nariño, a una altitud de 2612m. s.n.m., 01°12'28"N, 77°15'06"W, precipitación promedio anual de 814mm, temperatura promedio anual de 13°C y humedad relativa de 73% (Checa Coral *et al.* 2017).

**Diseño experimental.** Se utilizó un diseño irrestrictamente al azar (DIA) con arreglo trifactorial 3x3x2, donde el factor uno correspondió al tipo de empaque (FE), con tres niveles, así: bolsa de po-

lietileno de baja densidad (PE-LD), envase plástico termoformado perforado (PE-HD) y bandeja de poliestireno (PS); el factor dos estuvo definido por la temperatura de almacenamiento (FT), en tres niveles: 0°C, 4°C y 18°C y el factor tres estuvo conformado por las variedades de arveja (FV), con sus dos niveles, Sureña y Obonuco Andina, para un total de 18 tratamientos, con 5 repeticiones; se contó con 90 unidades experimentales, cuyo peso fue de aproximadamente 220g cada una, con un tamaño de muestra de 19,8kg.

**VARIABLES EVALUADAS.** En las tres condiciones de almacenamiento y tipo de empaque, se realizaron lecturas cada dos días por 16, 25 y 30 días a las variables porcentaje de brotación (PB), firmeza (F), pérdida de peso (PP) e índice de color (IC).

**Porcentaje de brotación (PB).** Se contó el número de granos que presentaron ruptura de la testa en los días de evaluación.

$$PB = \frac{\text{granos brotados}}{\text{granos totales}} \times 100$$

**Firmeza (F).** Para medir la firmeza de los granos de arveja, se utilizó un texturómetro LLOYD LS1, según la metodología descrita por Zapata *et al.* (2010). Se utilizó una punta cilíndrica de 0,46mm de diámetro, con una carga de 250 Newton (N) y velocidad de 21mm min<sup>-1</sup>.

**Pérdida de peso (PP).** Se determinó mediante pesaje directo con una balanza analítica marca KERN.

**Índice de color (IC).** El color, se evaluó mediante la determinación del índice de color IC, en un colorímetro CM5 Konica Minolta, con un observador de 10° y un iluminante D65, obtenido por la ecuación:

$$IC = \frac{1000 * a}{L * b}$$

Donde, L = Luminancia o brillo, a = zona de variación de rojo a verde y b = zona de variación de amarillo a azul, siendo parámetros del sistema de color CIELab (Andrade *et al.* 2016).

**Constantes cinéticas (K).** Con los datos del seguimiento pos-cosecha, se realizaron gráficas del comportamiento y con la linealización de las curvas, se encontraron las constantes cinéticas de velocidad de cambio (K) en los atributos evaluados, de acuerdo con modelos de orden cero y primer orden (Mendoza-Corvis *et al.* 2015), que hace referencia a la pendiente de la ecuación.

$$\begin{aligned} \text{Orden Cero} \quad Q &= Q_0 \pm Kt \\ \text{Orden uno} \quad \ln Q &= \ln Q_0 \pm K't \end{aligned}$$

Donde, Q: valor del atributo al tiempo t; K: constante de velocidad de orden cero; K': constante de velocidad de primer orden.

**Análisis estadístico.** Se realizó un análisis de varianza mediante prueba de F (al 5% de probabilidad) a las constantes cinéticas K o

K' de las variables PB, F, PP e IC y, en el caso de diferencias estadísticas entre los tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de múltiples medias de Tukey, al 95% de confianza.

**Estimación de vida útil.** Para comprobar la dependencia de las constantes cinéticas a la temperatura, a la que se lleva a cabo los cambios de atributos y para los cálculos de tiempo de vida útil, se utilizó la metodología descrita por Baldizón *et al.* (2011), mediante la ecuación de Arrhenius, a la variable IC.

$$\ln K = \ln A - \frac{Ea}{R} * \frac{1}{T}$$

Donde, K = factor preexponencial; Ea = energía de activación de la reacción; R = constante ideal de los gases (8,314KJ mol<sup>-1</sup> °K<sup>-1</sup>); T = temperatura en Kelvin.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis de varianza.** Se encontraron diferencias significativas (p<0,001 y p<0,05), para el efecto simple de la temperatura, en la variable firmeza, para la interacción doble empaque por temperatura, en la variable pérdida de peso; también, se evidenciaron diferencias en la interacción triple variedad por empaque por temperatura, en las variables días a brotación e índice de color (Tabla 1).

**Porcentaje de brotación (PB).** El comportamiento del porcentaje de brotación en el tiempo responde a una cinética de orden uno en todos los tratamientos. En la interacción variedad por empaque por temperatura, se observó que, a 0°C la variedad Obonuco Andina, empacada en PS, mostró diferencias significativas con los empaques PS-LD y PE-HD, mientras que Sureña, a la misma temperatura en PE-LD, presentó la K' más baja respecto a los otros empaques. En almacenamiento a 4°C, las dos variedades empacadas en PS exhibieron las K' más altas, respecto a los otros empaques, mostrando diferencias significativas. A 18°C, las variedades de arveja presentaron similar comportamiento, siendo en el empaque PE-HD donde se evidenció mayor porcentaje de brotación de los granos, en comparación con los otros empaques (Tabla 2).

El porcentaje de brotación, se puede considerar como una característica de apariencia del producto, una gran cantidad de granos brotados no es aceptada por el consumidor. Los resultados muestran que a la temperatura de 0°C se produce menor porcentaje de granos brotados en el almacenamiento (Figura 1, a); según Mamilla & Mishra (2017), el tiempo y las condiciones de la germinación, tales como luz, temperatura y humedad, favorecen el proceso, y durante esta etapa, se producen diferentes cambios en la distribución de metabolitos secundarios. A pesar de que la brotación es una característica no deseada por el consumidor, el almacenamiento a 0°C, en empaques como PS y PE-LD, según la variedad, puede jugar un papel importante respecto al uso de la arveja, teniendo en cuenta que el proceso de brotación es favorable para sus características nutricionales, en periodos cortos de almacenamiento (Urbano *et al.* 2005).

Tabla 1. Cuadrados medios del Anava para las variables pos-cosecha evaluadas en arveja (*Pisum sativum* L.), bajo diferentes condiciones de almacenamiento.

Fuente de Variación	GL	PB ( $10^{-4}$ )	F ( $10^{-4}$ )	PP ( $10^{-5}$ )	IC ( $10^{-3}$ )
Modelo	17	308,47**	2735,54**	0,74**	43,25**
Variedad (FV)	1	19,20**	0,00	0,01	0,22
Empaque (FE)	2	25,30**	11,63	1,79**	0,75*
Temperatura (FT)	2	2479,19**	23224,83**	3,88**	364,79**
FV x FE	2	4,47**	0,12	0,03	0,33
FV x FT	2	13,60**	0,09	0,03	0,06
FE x FT	4	21,89**	7,39	0,21**	0,24
FV x FE x FT	4	23,04**	0,32	0,04	0,56*
Error	72	0,43	145,39	0,02	0,17
R <sup>2</sup>		0,99	0,82	0,88	0,98
CV (%)		3,24	21,23	18,35	10,98

\* = diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ); \*\* = diferencias altamente significativas ( $p \leq 0,01$ ).

PB: porcentaje de brotación; F: firmeza; PP: pérdida de peso; IC: índice de color; R<sup>2</sup>: coeficiente de determinación; CV: coeficiente de variación.

Tabla 2. Promedios de constantes cinéticas para la interacción variedad por empaque, por temperatura, para las variables porcentaje de brotación e índice de color en arveja (*Pisum sativum* L.).

Variable	FV	Obonuco Andina			Sureña		
	FT	0°C	4°C	18°C	0°C	4°C	18°C
PB	PS	0,11a	0,22c	0,30a	0,13b	0,18c	0,30a
	PE-LD	0,14b	0,17a	0,29a	0,08a	0,17b	0,30a
	PE-HD	0,15b	0,18b	0,31b	0,14c	0,16a	0,31b
IC	PS	0,03a	0,07a	0,24a	0,04a	0,07a	0,23a
	PE-LD	0,04a	0,08a	0,23a	0,04a	0,07a	0,26b
	PE-HD	0,04a	0,08a	0,26b	0,04a	0,08a	0,25b

Letras diferentes en la misma columna implican diferencias entre promedios, según prueba de Tukey a un 95% de confianza. Diferencia honesta significativa para PB =  $9,96 \cdot 10^{-3}$ ; e IC =  $19,72 \cdot 10^{-3}$ .

FV: factor variedad; FT: factor temperatura; FE: factor empaque; PB: porcentaje de brotación; IC: índice de color; PS: poliestireno; PE-LD: polietileno de baja densidad; PE-HD: polietileno de alta densidad.

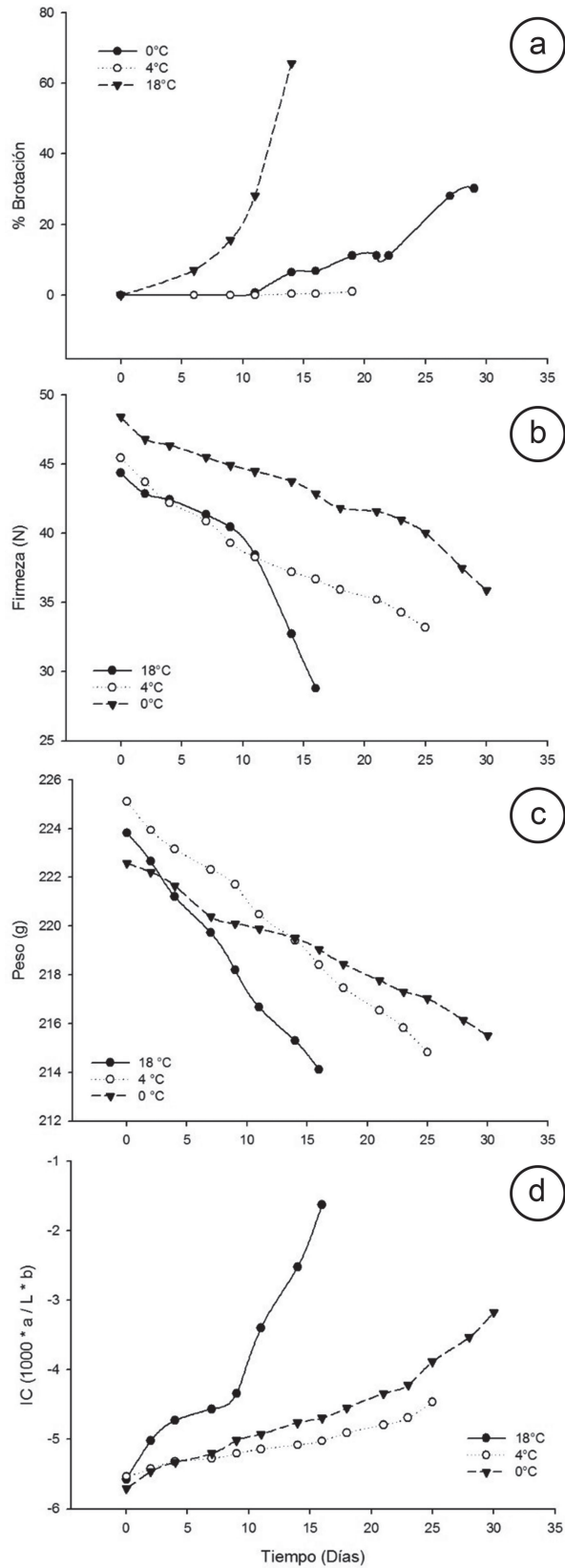


Figura 1. Cinética de cambios de: a. porcentaje de brotación para la Var. Sureña empaque PE-LD; b. firmeza para la Var. Andina empaque PE-HD; c. pérdida de peso para la Var. Andina empaque PE-HD; d. índice de color Var. Sureña empaque PS. PS: poliestireno; PE-LD: polietileno de baja densidad; PE-HD: polietileno de alta densidad. Solo se presentan las respuestas que presentan el K más bajo.

**Firmeza (F).** Los cambios de firmeza de los granos de arveja en el tiempo responden a una cinética de orden cero en cada uno de los tratamientos. El efecto simple de la temperatura mostró que los granos de arveja almacenados a 0°C presentan una constante cinética menor a las otras temperaturas de almacenamiento (K: 0°C = 0,37a, 4°C = 0,45b y 18°C = 0,89c; Diferencia honesta significativa de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) = 0,07), donde el cambio de firmeza es menos drástico en el tiempo que estuvieron expuestas a los tratamientos a 0°C, conservando así la firmeza de los granos.

Conforme transcurrieron los días de evaluación, se evidenció disminuciones en los valores de firmeza bajo cualquier tratamiento (Figura 1, b); por el contrario, Andrade *et al.* (2016) mencionan que en la etapa de almacenamiento la firmeza de la arveja tuvo un incremento gradual, debido a la pérdida de agua y a la transición de grano fresco a seco; sin embargo, Elwan *et al.* (2015), en arveja dulce, mencionan que la firmeza se mantiene los primeros días de evaluación en refrigeración, después de los 21 días hay pérdida de la firmeza. El fenómeno observado se puede explicar, a través del proceso de respiración y transpiración, donde se evidencia la pro-

ducción de CO<sub>2</sub> y agua; el CO<sub>2</sub> al disolverse en agua produce ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), que aumenta la acidez del medio, originando exudado por la pérdida de la capacidad de retención de agua en los tejidos de las proteínas y conllevando a su desnaturalización; además, se podrían desencadenar reacciones de hidrólisis y glicólisis (Elwan *et al.* 2015), como también daños en los tejidos vegetales, por el exceso de humedad dentro del contenedor, asociado a la alta presión de vapor de agua (Lanchero *et al.* 2007).

**Pérdida de peso (PP).** La pérdida de peso en almacenamiento de los granos de arveja mostró una cinética de orden uno en los tratamientos. En la temperatura de 0°C, se evidenció menor pérdida de peso, representado por las K', en el empaque PE-HD, seguido del PS y del PE-LD, independiente de la variedad de arveja. A 4°C, no se presentaron diferencias significativas entre PE-HD y PS, pero sí respecto al PE-LD. Y a la temperatura de 18°C, se registró mayor pérdida de peso en los granos de arveja de las dos variedades, mostrando diferencias el empaque PE-HD, en comparación con PE-LD y PS (Tabla 3).

Tabla 3. Promedios de constantes cinéticas ( $K' \cdot 10^{-3}$ ) para la interacción empaque por temperatura, para la variable pérdida de peso en arveja (*Pisum sativum* L.).

Empaque \ Temperatura	Temperatura		
	0°C	4°C	18°C
PE-HD	0,10a	0,18a	0,30a
PE-LD	0,14b	0,21a	0,39b
PS	0,20c	0,41b	0,43b

Letras diferentes en la misma columna implican diferencias entre promedios, según prueba de Tukey a un 95% de confianza. Diferencia honesta significativa =  $0,68 \cdot 10^{-3}$ .

PS: poliestireno; PE-LD: polietileno de baja densidad; PE-HD: polietileno de alta densidad.

Con el paso del tiempo de almacenamiento, se evidenciaron cambios en el peso de los granos (Figura 1, c), reduciendo significativamente el porcentaje de pérdida de peso a 0°C en PE-HD, similar conclusión reportaron Andrade *et al.* (2016); en granos de arveja recubiertos con películas comestibles, Elwan *et al.* (2015); El-hamahmy *et al.* (2017), en arveja dulce y Muy-Rangel *et al.* (2011), en garbanzo verde, con el uso de 1-MCP. La pérdida de agua libre es una de las principales causas de deterioro, ya que se originan pérdidas cuantitativas directas, así como pérdidas cualitativas relacionadas con el aspecto, pérdida de brillo y de turgencia, cambios en la textura, la consistencia y en el valor nutricional, reduciendo precios en el mercado y la aceptabilidad por el consumidor (Ramana *et al.* 2011). Parra (2014) menciona que la pérdida de masa se incrementa a medida que aumenta la temperatura; Ramana *et al.* (2011) concluyen que la pérdida de peso aumenta progresivamente con el tiempo y la temperatura de almacenamiento.

**Índice de color (IC).** Los cambios de color (Figura 2) en las coordenadas L\*, a\* y b\*, relacionadas en el índice de color, durante el tiempo de almacenamiento en cada uno de los tratamientos, responden a una cinética de orden cero. Para la interacción variedad por empaque por temperatura mostró que, tanto para la variedad Obonuco Andina y Sureña, almacenadas a 0°C y 4°C, en los tres tipos de empaque, no se presentaron diferencias estadísticas entre las medias de las K, evidenciando que, a estas condiciones de almacenamiento, se mantienen atributos de calidad, como el color en el tiempo de almacenamiento. A la temperatura de 18°C, la variedad Obonuco Andina, empacada en PS o PE-LD, presentó K más baja, si se compara con el empaque PE-HD y la variedad Sureña mostró una K de cambio del IC menor en empaque PS, en comparación con PE-LD y PE-HD, los cuales, no presentaron diferencias; sin embargo, hay mayor pérdida de la coloración de los granos en el tiempo, a la temperatura de almacenamiento de 18°C, lo que se puede evidenciar con la pérdida de la luminosidad de los granos (Tabla 2).

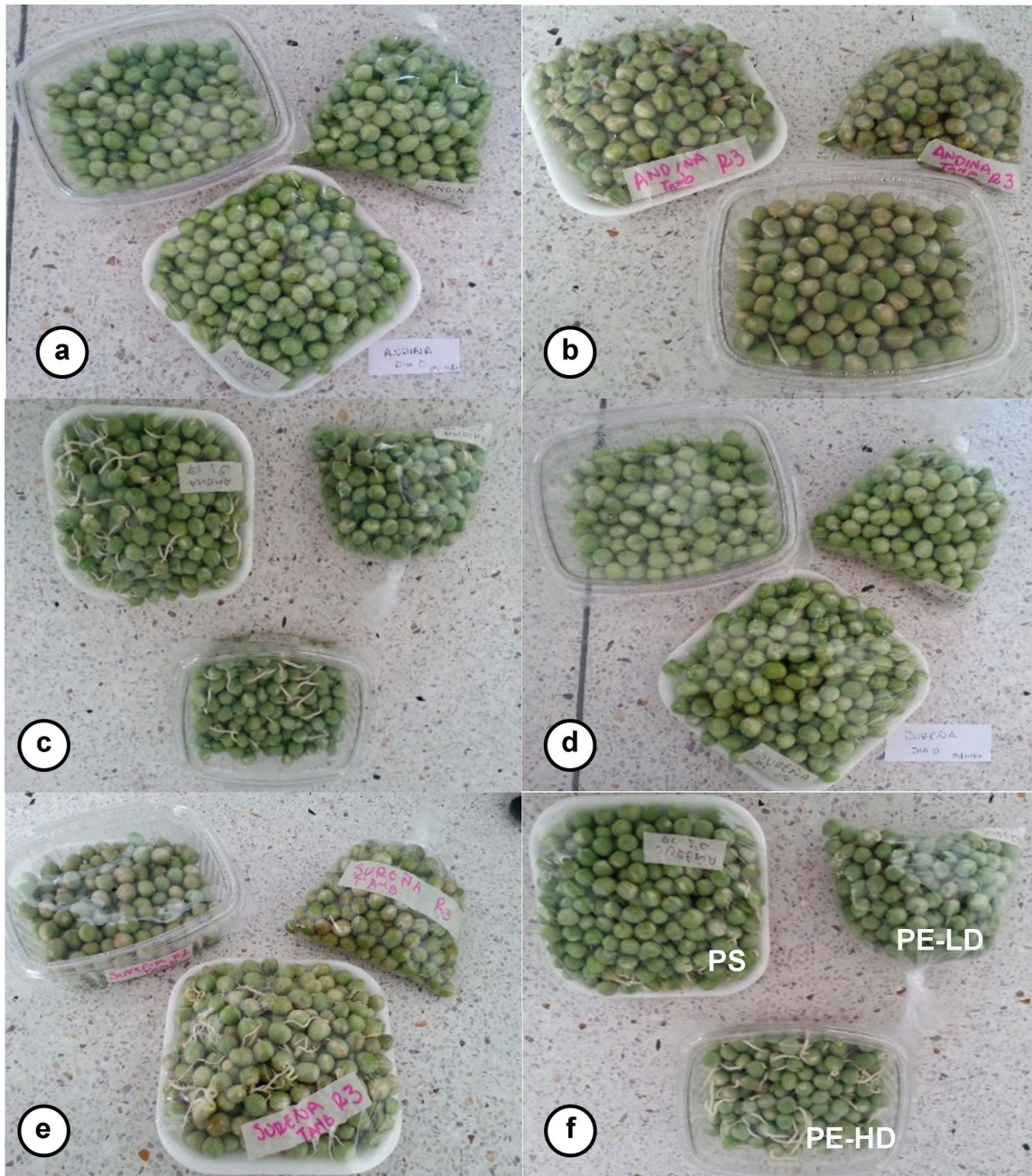


Figura 2. Cambios de color en arveja empacada en PS: poliestireno; PE-LD: polietileno de baja densidad; PE-HD: polietileno de alta densidad. Variedad Obonuco Andina: a. día inicial; b. día 15, almacenado a 18°C; c. día 25, almacenado a 0°C; Variedad Sureña: d. día inicial; e. día 15, almacenado a 18°C; f. día 25, almacenado a 0°C.

Conforme transcurren los días de evaluación, el índice de color se acerca a valores positivos. Andrade *et al.* (2016) reporta valores de IC entre -5 a 1, coloraciones que van del verde intenso al verde amarillento; Muy-Rangel *et al.* (2011), en garbanzo, mencionan que los tratamientos con 1-MCP y agua caliente mantienen la luminosidad de los granos los primeros días de evaluación; sin embargo, a los 12 días de almacenamiento, no hay retención del color; Elwan *et al.* (2015) mencionan que el color externo de la arveja dulce se ve afectado por la temperatura de almacenamiento y tipo de empaque. Según Parra (2014), el cambio de color se atribuye a la degradación

de la clorofila (debido a procesos oxidativos). Con el aumento de la temperatura los valores de K aumentaron, siendo el cambio en el color significativo. Mendoza-Corvis *et al.* (2015) concluyen que el efecto de la temperatura sobre el producto se evidencia con el pardeamiento de la materia prima, explicando el fenómeno observado, paso de verde intenso a verde amarillento. Por otro lado, Santos *et al.* (2014) mencionan que las hortalizas pueden sufrir cambios de color durante el almacenamiento, siendo la pérdida del verdor y la aparición de una tonalidad amarillenta, un signo de inicio de la senescencia.

**Estimación de vida útil.** Con la ecuación de Arrhenius, se evidenció la dependencia del cambio de color en los granos de arveja almacenados a diferentes condiciones de almacenamiento, representados por las constantes cinéticas, a la temperatura. Las ecuaciones que se muestran en la tabla 4, presentaron coeficientes de determi-

nación altos ( $R^2 > 85\%$ ) (Brousse *et al.* 2014), evidenciando un buen ajuste en cada uno de los empaques, permitieron encontrar nuevas constantes cinéticas, al despejar de cada una de las ecuaciones el valor de K y reemplazar en la temperatura el valor al cual se desea estimar tiempos de vida útil.

Tabla 4. Ecuación de Arrhenius para la variable IC en arveja (*Pisum sativum* L.) variedad Sureña y Obonuco Andina, en diferentes empaques.

Ecuación de Arrhenius	R <sup>2</sup> (%)	Variedad y empaque
$L_n K = 26,53 - 8109 * \frac{1}{T}$	97,29	Obonuco Andina en PE-HD
$L_n K = 25,11 - 7726 * \frac{1}{T}$	95,41	Obonuco Andina en PE-LD
$L_n K = 27,56 - 8428 * \frac{1}{T}$	97,28	Obonuco Andina en PS
$L_n K = 26,52 - 8111 * \frac{1}{T}$	98,01	Sureña en PE-HD
$L_n K = 26,80 - 8185 * \frac{1}{T}$	98,42	Sureña en PE-LD
$L_n K = 24,83 - 7650 * \frac{1}{T}$	97,33	Sureña en PS

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación; PS: poliestireno; PE-LD: polietileno de baja densidad; PE-HD: polietileno de alta densidad.

Con la ecuación que presentó un buen ajuste, según el R<sup>2</sup> (97,60 %) y donde se evidenció la menor K en los tratamientos para la variable IC, se reemplaza los nuevos valores de K a las temperaturas de 0, 6, 10 y 24°C (0,04; 0,07; 0,11 y 0,45, respectivamente) y se estima tiempos de vida útil para cada uno de los empaques y variedades;  $Q = K * t - 5,66$ , donde Q: Valor atributo aceptable, IC = -5,1, K: Constante de velocidad de orden cero y t = tiempo.

Tras realizar los respectivos cálculos, se encontraron estimados de 13, 7, 5 y 2 días en los tres empaques de estudio, a las temperaturas de 0, 6, 10 y 24°C, respectivamente, a excepción de la variedad Obonuco Andina, empacada en PS, que presenta 15 y 8 días estimados de vida útil, a las temperaturas de 0 y 6°C, respectivamente. El-hamahmy *et al.* (2017) mencionan que la arveja es una leguminosa no climatérica con una vida útil relativamente corta, debido a su estructura de parénquima, por lo que es importante maximizar el periodo de calidad aceptable de los granos, mediante buenas prácticas en la cadena de suministro (Kyriacou & Roupael, 2018).

En conclusión, el almacenamiento a temperaturas de refrigeración a 0°C en empaques que permitan el intercambio gaseoso, como las bandejas de poliestireno recubiertas con películas autoadheribles de PVC y PE-HD preformados y perforados, permitieron mantener en el tiempo, factores de calidad, como la firmeza y la apariencia, descrita por características, como el color verde, brillo, frescura y ausencia de brotes en los granos de arveja, además de disminuir la pérdida de peso. Con el seguimiento de los factores de calidad en el tiempo a diferentes temperaturas de almacenamiento y con la ecuación de Arrhenius, se estimó tiempos de vida útil. Con el uso de tecnologías económicas y asequibles, los productores y comercializadores de arveja de la región pueden minimizar las pérdidas pos-cosecha.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen a los grupos de investigación GRICAND y GAIDA de la Universidad de Nariño, por su apoyo en el establecimiento del cultivo y los ensayos de la experimentación en los laboratorios. **Conflictos de interés:** El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. **Financiación:** Esta investigación fue financiada por el Sistema General de Regalías, a través del Proyecto “Evaluación de la aptitud de nuevas líneas de arveja (*Pisum sativum* L.), para procesamiento agroindustrial, actualmente aptas agrónomicamente en el departamento de Nariño”, entre el 2013 y 2016.

## REFERENCIAS

- AMARAKOON, D.; THAVARAJAH, D.; MCPHEE, K.; THAVARAJAH, P. 2012. Iron, zinc, and magnesium-rich field peas (*Pisum sativum* L.) with naturally low phytic acid: A potential food-based solution to global micronutrient malnutrition. *J. Food Composition and Analysis*. (Estados Unidos). 27:8-13. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2012.05.007>
- ANDRADE, J.; PINCHAO, Y.; OSORIO, O.; MEJÍA, D. 2016. Procesamiento de arvejas (*Pisum sativum* L.). Parte 5: Desarrollo de un recubrimiento para la conservación de arveja (*Pisum sativum* L.). *Información Tecnológica*. (Chile). 27(5):15-26. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000500003>
- BALDIZÓN, C.; VALLE, G.; CÓRDOBA, M. 2011. Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante



- pruebas aceleradas por temperatura. Ingeniería. (Costa Rica). 21(2):31-38. <http://dx.doi.org/10.15517/RING.V21I2.2683>
4. BRASIL, I.; SIDDIQUI, M. 2018. Chapter 1: Postharvest quality of fruits and vegetables: An overview. En: Siddiqui, M. (ed). Preharvest Modulation of Postharvest Fruit and Vegetable Quality. Academic Press (Estados Unidos). p.1-40. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809807-3.00001-9>
  5. BROUSSE, M.; VERGARA, M.; ZUBRESKI, E.; CRUZ, N.; MARTOS, M. 2014. Cinética de absorción de agua de tejidos de mandioca macerados con una poligalacturonasa microbiana. Rev. Ciencia Y Tecnología. (Argentina). (22):53-57.
  6. CASTRO, J.; PFAFFENBACH, L.; CARVALHO, C.; ROSSETTO, C. 2003. Efecto del empaque plástico sobre la vida de anaquel del mango "KEITT". Rev. Iber. Tecnología Pos-cosecha. (México). 5(1):33-37.
  7. CHECA CORAL, O.E.; BASTIDAS ACOSTA, J.E.; NARVÁEZ TAIMAL, O.C. 2017. Evaluación agronómica y económica de arveja arbustiva (*Pisum sativum* L.) en diferentes épocas de siembra y sistemas de tutorado. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 20(2):279-288. <https://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.380>
  8. DO NASCIMENTO, M. 2015. Correlations between subjective quality and physicochemical attributes of fresh fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology. (Países Bajos). 107:43-54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.05.001>
  9. EL-HAMAHMY, M.; ELSAYED, A.; ODERO, D. 2017. Physiological effects of hot water dipping, chitosan coating and gibberellic acid on shelf-life and quality assurance of sugar snap peas (*Pisum sativum* L. var. Macrocarpon). Food Packaging and Shelf Life. (Países Bajos). 11:58-66. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.12.002>
  10. ELWAN, M.; NASEF, I.; EL-SEIFI, S.; HASSAN, M.; IBRAHIM, R. 2015. Storability, shelf-life and quality assurance of sugar snap peas (cv. super sugar snap) using modified atmosphere packaging. Postharvest Biology and Technology. (Países Bajos). 100:205-211. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.10.006>
  11. ESPINOSA-TORRES, L.E.; PÉREZ-GRAJALES, M.; MARTÍNEZ-DAMIÁN, M.T.; CASTRO-BRINDIS, R.; BARRIOS-PUENTE, G. 2010. Efecto de empaques y temperaturas en el almacenamiento de chile manzano. Revista Chapingo serie Horticultura. (México). 16(2):115-121.
  12. HAJARE, S.; SAROJ, S.; DHOKANE, V.; SHASHIDHAR, R.; BANDEKAR, J. 2007. Effect of radiation processing on nutritional and sensory quality of minimally processed green gram and garden pea sprouts. Radiation Physics and Chemistry. (Reino Unido). 76:1642-1649. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2007.01.007>
  13. KYRIACOU, M.; ROUPHAEL, Y. 2018. Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. Scientia Horticulturae. (Países Bajos). 234: 463-469. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.046>
  14. LANCHERO, O.; VELANDIA, G.; FISCHER, G.; VARELA, N. 2007. Comportamiento de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) en pos-cosecha bajo condiciones de atmósfera modificada activa. Rev. CORPOICA – Ciencia y Tecnología Agropecuaria. (Colombia). 8(1):61-68. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol8\\_num1\\_art:84](https://doi.org/10.21930/rcta.vol8_num1_art:84)
  15. MAMILLA, R.; MISHRA, V. 2017. Effect of germination on antioxidant and ACE inhibitory activities of legumes. LWT – Food Science and Technology. (Estados Unidos). 75:51-58. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.036>
  16. MENDOZA-CORVIS, F.; HERNÁNDEZ, E.; RUIZ, L. 2015. Efecto del escaldado sobre el color y cinética de degradación térmica de la vitamina C de la pulpa de mango de hilacha (*Mangifera indica* var *magdalena river*). Información Tecnológica. (Chile). 26(3):9-16. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000300003>
  17. MUNIZ, J.; PELIZZA, T.R.; FERNANDES DE LIMA, A.P.; GONCALVES, M.J.; RUFATO, L. 2017. Qualidade pós-colheita de Aracá-Vermelho. Rev. U.D.C.A. Act. & Div. Cient. (Colombia). 20(2):311-319. <http://doi.org/10.31910/rudca.v20.n2.2017.389>
  18. MUY-RANGEL, M.; VERDUGO-PERALES, M.; OSUNA-ENCISO, T.; BÁEZ-SAÑUDO, M.; BASILIO-HEREDIA, J.; VALDEZ-TORRES, B.; CONTRERAS-MARTÍNEZ, R.; SAÑUDO-BARAJAS, J.; CAMPOS-SAUCEDA, J. 2011. Caracterización del garbanzo verde (*Cicer arietinum* L.) y tecnologías poscosecha para mantener su calidad. Revista Chapingo Serie Horticultura. (México). 17(1):39-45.
  19. PARRA, A. 2014. Maduración y comportamiento pos-cosecha de la guayaba (*Psidium guajava* L.). Una revisión. Rev. Col. Ciencias Hortícolas. (Colombia). 8(2):314-322.
  20. RAMANA, T.; GOL, N.; SHAH, K. 2011. Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). Scientia Horticulturae. 132:18-26. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.09.032>

21. SANTOS, J.; HERRERO, M.; MENDIOLA, J.; OLIVA-TELES, M.; IBÁÑEZ, E.; DELERUE-MANTOS, C.; OLIVEIRA, M. 2014. Assessment of nutritional and metabolic profiles of pea shoots: The new ready-to-eat baby-leaf vegetable. *Food Res. Internal. (Paises Bajos)*. 58:105-111. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.062>
22. SWIECA, M.; GAWLIK-DZIKI, U. 2015. Effects of sprouting and postharvest storage under cool temperature conditions on starch content and antioxidant capacity of green pea, lentil and young mung bean sprouts. *Food Chemistry. (Paises Bajos)*. 185:99-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.108>
23. THARANATHAN, R. 2003. Biodegradable films and composite coatings: past, present nad future. *Trends in Food Science & Technology. (Paises Bajos)*. 14(3):71-78. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)
24. URBANO, G.; ARANDA, P.; VÍLCHEZ, A.; ARANDA, C.; CABRERA, L.; PORRES, J.; LÓPEZ-JURADO, M. 2005. Effects of germination on the composition and nutritive value of proteins in *Pisum sativum* L. *Food Chemistry*. 93:671-679. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.045>
25. ZAPATA, L.; MALLERET, A.; QUINTEROS, C.; LESA, C.; VUARANT, C.; RIVADENEIRA, M.; GERARD, J. 2010. Estudios sobre cambios en la firmeza en bayas de arándanos durante su maduración. *Ciencia, Docencia y Tecnología. (Argentina)*. 21(41):159-171