

EFFECTO DEL CHLORPROPHAM (CIPC) EN LA BROTAÇÃO Y COMPUESTOS BIOACTIVOS DE MASHUA MORADA (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz & Pavón) DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Hugo Gonzales-Torre¹, Isaac Aliaga-Barrera¹ y Frank F. Velásquez-Barreto²

RESUMEN

El control de la brotación de tubérculos y el comportamiento de los compuestos bioactivos durante el almacenamiento postcosecha es de importancia para las comunidades andinas que se dedican a estos cultivos. En este trabajo se evaluó el efecto de la aplicación de Chlorpropham (CIPC) sobre tubérculos de mashua morada durante el almacenamiento postcosecha. Para ello, se utilizaron tubérculos provenientes del distrito de Paucará, provincia de Acobamba (Perú), los cuales fueron recolectados aleatoriamente y colocados en cajas de cartón recubiertas con plástico. Posteriormente se aplicaron los tratamientos de 10, 20 y 30 mg·kg⁻¹ de CIPC, más un testigo sin aplicación, y se determinó la longitud de los brotes, porcentaje de pérdida de peso, contenido de antocianinas, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante a los 0, 30, 60 y 90 días de almacenamiento. Se encontró que la aplicación del CIPC y el tiempo de almacenamiento afectaron el crecimiento de los brotes y el contenido de los compuestos bioactivos en los tubérculos. El CIPC no inhibió la formación de brotes pero causó reducción de su longitud y una disminución del porcentaje de pérdida de peso de los tubérculos, y este efecto fue mayor ante las mayores dosis del producto. A medida que aumentó el tiempo de almacenamiento se redujo el contenido de antocianinas e incrementó el de compuestos fenólicos en los tubérculos, independientemente de la dosis del CIPC. En todas las evaluaciones, el aumento en las dosis del producto ocasionó aumento de las antocianinas y reducción de los compuestos fenólicos. En general, la capacidad antioxidante tendió a aumentar con el tiempo, aunque con notorias reducciones ante la dosis mayor de CIPC.

Palabras clave adicionales: Antocianinas, capacidad antioxidante, compuestos fenólicos

ABSTRACT

Effect of Chlorpropham on the sprouting and behavior of bioactive compounds in purple mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz & Pavón) during postharvest storage

The control of tuber sprouting and the behavior of bioactive compounds during postharvest storage is of importance for the Andean communities that cultivate these tubers. Therefore, this work evaluated the effect of Chlorpropham (CIPC) on purple mashua tubers during postharvest storage. Purple mashua tubers from the Paucará district, Acobamba province (Peru) were used, which were randomly collected and placed in cardboard boxes covered with plastic. Subsequently, the concentration of 10, 20 and 30 mg·kg⁻¹ of CIPC were applied, plus a control treatment without application. The measurements included the length of sprout, weight loss percentage, anthocyanin content, content of phenolic compounds, and antioxidant capacity at 0, 30, 60 and 90 days of storage. It was found that the application of CIPC and the time of storage affected the growth of shoots and the content of bioactive compounds in the tubers. The CIPC did not inhibit the formation of shoots but caused a reduction in their length and a decrease in the percentage of weight loss of the tubers, and this effect was greater with the higher doses of the product. As the storage time increased, the anthocyanin content was reduced and the content of phenolic compounds in the tubers increased regardless of the dose of the CIPC. In all evaluations, the increase in the product doses caused an increase in anthocyanins and a reduction in phenolic compounds. In general, the antioxidant capacity tended to increase over time, although with marked reductions with the higher doses of CIPC.

Additional keywords: Anthocyanins, antioxidant capacity, phenolic compounds

INTRODUCCIÓN

La mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz &

Pavón) es un tubérculo que pertenece a la familia *Tropaeolaceae*, de uso ancestral. Tiene importancia alimenticia aunque mayormente se ha

Recibido: Diciembre 6, 2018

Aceptado: Octubre 25, 2019

¹ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Huancavelica, Comun Era, Acobamba, Perú.
e-mail: goncho345@hotmail.com; inaliagabarrera@hotmail.com

² Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Autónoma de Chota, Colpamatara, Chota, Perú. e-mail: frankervba@hotmail.com (autor de correspondencia)

utilizado como medicinal por sus compuestos bioactivos, con efectividad en el tratamiento de enfermedades del tracto urinario del hombre (Valle et al., 2018). Es el cuarto tubérculo de mayor importancia de la región andina distribuyéndose desde Colombia hasta el norte de Argentina (Grau et al., 2003). En el Perú se encuentra una alta variedad morfológica de grupos de mashua con diferentes coloraciones (Quispe et al., 2015).

Estos tubérculos tienen un alto contenido de compuestos bioactivos como antocianinas, epicatequina, ácido galico, flavonoides, carotenoides, triperpenos, esteroides, glucosinolatos (Ramallo et al., 2004; Chirinos et al., 2008a; Guevara et al., 2018), los cuales les confieren ciertas propiedades terapéuticas y medicinales. Inostroza et al. (2015) encontraron un elevado contenido de antocianinas y de compuestos fenólicos, así como una alta capacidad antioxidante, en tubérculos de mashua morada. Por su parte, Chirinos et al. (2008b) encontraron un contenido total de compuestos fenólicos de 14-24 mg·g⁻¹ de materia seca en la mashua morada variedad DP 0224 y capacidad antioxidante en el rango de 271-446 μmol de Trolox equivalente por gramo de materia seca de tubérculos de esta planta.

Se han realizado algunos estudios del comportamiento de los compuestos bioactivos de frutas y tubérculos andinos durante el almacenamiento postcosecha, mostrándose una variabilidad de éstos de acuerdo al tiempo y a las condiciones de almacenamiento. Külen et al. (2013) evaluaron la variación del contenido de compuestos fenólicos, vitamina C y actividad antioxidante de 12 clones de papa sometidos a almacenamiento a 4 °C durante 2, 4, 6 y 7 meses, y encontraron que los genotipos de papa pigmentada tuvieron un contenido fenólico total y actividad antioxidante significativamente más altos que los cultivares amarillos y blancos. Además, hallaron que el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante a los siete meses de almacenamiento fueron ligeramente más altos que en la cosecha. Rosenthal y Jansky (2008) evaluaron el efecto del almacenamiento sobre el nivel de antioxidantes en tubérculos de papa y encontraron un incremento en la capacidad antioxidante y un alto porcentaje de pérdida de

peso en todas las variedades de papa analizadas a los 5 meses de almacenamiento a 5 °C. Chirinos et al. (2007) analizaron el efecto del tiempo de almacenamiento de los tubérculos con exposición al sol sobre la capacidad antioxidante, contenidos de compuestos fenólicos, contenido de antocianinas y carotenoides en variedades de mashua morada y amarilla, y reportaron que la capacidad antioxidante y el contenido de los compuestos bioactivos se reduce con el aumento del tiempo de almacenamiento y esta degradación fue afectada por la exposición a la luz. Por su parte, Liu et al. (2017) evaluaron la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) y la capacidad antioxidante de tubérculos durante la brotación, y señalaron que la concentración de ERO y el contenido de fenoles totales se incrementaba durante el proceso; sin embargo, no se detectaron diferencias significativas en la capacidad antioxidante.

Los tubérculos andinos son susceptibles de brotación por efecto del rompimiento del período de dormancia, principalmente afectado por factores genéticos. Este proceso se realiza durante el almacenamiento poscosecha e incrementa la pérdida de peso y reduce el tiempo de almacenamiento. Los tubérculos de mashua morada no son la excepción. Se han realizado algunos trabajos para retardar el inicio del proceso de brotación utilizando inhibidores como el Chlorpropham (CIPC). Velásquez et al. (2013) investigaron el efecto de la adición de 10, 20 y 30 mg·kg⁻¹ de CIPC como inhibidor de longitud de los brotes y porcentaje de pérdida de peso en papas nativas durante el almacenamiento poscosecha a temperatura entre 12 a 15 °C y una humedad relativa de 80 %, observando que a los 120 días de almacenamiento se logró inhibir el tamaño de los brotes, siendo menores a 0,3 cm para las concentraciones 30 mg·kg⁻¹ de CIPC. Los más altos porcentajes de pérdida de peso ocurrieron en los tratamientos testigo en comparación con los tratamientos de 10, 20 y 30 mg·kg⁻¹, y a su vez, éstas fueron menores en tratamientos realizados con altas concentraciones de CIPC. Así mismo, Aliaga et al. (2011) evaluaron el efecto del CIPC en la brotación del tubérculo de olluco (*Ullucus tuberosus* L.) durante el almacenamiento postcosecha por 90 días a una temperatura promedio de 15 °C y humedad

relativa de 85 %, y observaron que el CIPC logró inhibir el crecimiento de los brotes de los tubérculos durante el almacenamiento y no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos con diferentes concentraciones de CIPC. Las pérdidas de peso y longitud de los brotes fueron mayores en el tratamiento testigo.

Se han llevado a cabo muy pocas investigaciones en el uso de inhibidores de la brotación y el crecimiento de los brotes, así como en el comportamiento de los compuestos bioactivos de tubérculos mashua morada durante el almacenamiento poscosecha. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del CIPC en la longitud de brote, pérdida de peso, contenido de antocianinas, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de tubérculos de la mashua morada durante el almacenamiento postcosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de muestras y diseño experimental.

Se utilizaron tubérculos de mashua morada provenientes del distrito de Paucará, provincia de Acobamba (Perú), los cuales fueron recolectados aleatoriamente, limpiados y almacenados hasta su posterior uso. Posteriormente, se pesó 1 kg de tubérculos de mashua morada (tres repeticiones por tratamiento) y se colocaron en cajas cartón de 15 x 22 x 10 cm recubiertas con plástico. Luego, se aplicó CIPC esparciendo el polvo directamente sobre los tubérculos en concentraciones de 10, 20 y 30 mg.kg⁻¹ del producto, más un tratamiento testigo sin aplicación. Los tubérculos se almacenaron a una temperatura comprendida entre 12 y 15 °C y humedad relativa de 80 %, y a los 0, 30, 60 y 90 días se realizó la medición de la longitud de los brotes, porcentaje de pérdida de peso, contenido de antocianinas, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

Caracterización química de los tubérculos de mashua. La composición química de los tubérculos de mashua morada fue determinada utilizando los métodos de la AOAC (2012). Además, el contenido de antocianinas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de los tubérculos de mashua fueron determinados utilizando las metodologías descritas más adelante.

Longitud de los brotes y porcentaje de pérdida de peso. Para estas determinaciones se utilizó la metodología propuesta por Velásquez et al. (2013) y para cada repetición se utilizó 1 kg de tubérculos. La longitud de los brotes se obtuvo midiendo desde la altura de los meristemas hasta la parte final del brote y se contabilizaron las longitudes en todos los tubérculos que presentaron brotes, para luego obtener el promedio. El porcentaje de pérdida de peso fue determinado por diferencia de peso entre el peso inicial y peso final de los tubérculos para el momento de efectuar la medición.

Determinación de antocianinas monoméricas.

Se utilizó la metodología propuesta por Giusti y Wrolstad (2001). Se realizaron ciertas modificaciones, mayormente relacionadas con las cantidades de reactivos utilizadas, pero sin alterar el principio del método. Para ello, 0,5 g de muestra y 15 mL de solvente de extracción (etanol al 96 %: HCl 1 M, 85/15, v/v) fueron homogenizados por 2 min y dejados a 4 °C por 24 h. Luego, el extracto fue centrifugado a 4000 rpm por 15 min. Se realizó una dilución 1/10 a pH 1,0 utilizando 10 mL de la muestra extraída (buffer cloruro 0,025 M). Adicionalmente, se preparó otra dilución utilizando buffer pH 4,5 (buffer acetato de sodio 0,4 M). Luego, se determinó la absorbancia para el pH 1 a 510 nm y 700 nm utilizando un espectrofotómetro UV-visible Zuzi mod. 4251/50. También se determinó la absorbancia para el de pH 4,5 a 510 nm y 700 nm. La concentración de antocianinas monoméricas fue calculada utilizando las siguientes ecuaciones:

$$Abs = (A_{510\text{ nm pH } 1.0} - A_{700\text{ nm pH } 1.0}) - (A_{510\text{ nm pH } 4.5} - A_{700\text{ nm pH } 4.5})$$

$Concentración \left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{A}{\epsilon L} \times 10^3 \times MW \times Factor\ de\ dilución$
 donde: Abs: absorbancia corregida, MW: peso molecular (Cianidina 3-glucosido=449,2 g·mol⁻¹), ϵ : coeficiente de extinción molar (Cianidina 3-glucosido=26.900 g·mol⁻¹), L: longitud de la cubeta (1 cm).

Determinación del contenido de compuestos fenólicos.

Se utilizó el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu's, con ciertas modificaciones siguiendo el criterio antes señalado, para determinar el contenido de compuestos fenólicos (Singleton et al., 1999; Bahukhandi et al., 2013; Bahukhandi et al., 2018). Una muestra de 0,5 g fue homogenizada con etanol al 96 % por 2 min y

dejados en reposo a 4 °C por 24 h. Luego, el extracto fue centrifugado a 4000 rpm por 15 min. 1 mL de sobrenadante fue diluido con 10 mL de agua destilada. 0,25 mL del extracto etanólico obtenido fue diluido con 2,25 mL de agua destilada. Luego, se adicionó 0,25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu's y se dejó en reposo por 5 min. Después, 2,5 mL de carbonato de sodio 7 % (p/v) fue adicionado a la mezcla y se mantuvo en oscuridad a temperatura ambiente por 2 h. La absorbancia fue medida a 765 nm utilizando un espectrofotómetro UV-visible. La cuantificación fue realizada utilizando una curva de calibración de ácido gálico con patrones en solución de etanol al 80 %. Los resultados fueron expresados en mg de ácido gálico equivalente por gramo de peso fresco (mg GAE·g⁻¹ PF).

Determinación de capacidad antioxidante. Se utilizó la metodología propuesta por Thaipong et al. (2006) y Pisoschi et al. (2009) con algunas modificaciones siguiendo el criterio ya señalado. Para ello, 0,5 g de muestra con 20 mL de metanol fueron homogenizados por 2 min y dejados a 4 °C por 24 h. Luego, el extracto fue centrifugado a 4000 rpm por 15 min y colectado el sobrenadante. Después, se realizó una dilución de 5 mL de sobrenadante y se diluyó en 50 mL de agua destilada. Posteriormente, se tomaron 100 µL de la dilución y se adicionó 3,9 mL de la solución de 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH). Finalmente, se dejó de reposar en un lugar oscuro por 30 minutos y luego se realizó una lectura de absorbancia a 515 nm. Para la determinación de la capacidad antioxidante se utilizó una curva de calibración preparada con una solución patrón de Trolox de 0,2 mM (PM=250,29 g·mol⁻¹) y se obtuvieron disoluciones de 0,02 a 0,2 M. Las lecturas de las absorbancias de la curva de calibración fueron registradas a 515 nm.

Análisis estadístico. El análisis estadístico y la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) para la comparación de medias de los tratamientos se efectuaron utilizando el software Statgraphics Centurion 18.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química de los tubérculos. En el Cuadro 1 se muestran los resultados del análisis proximal de los tubérculos de mashua morada.

Los valores de proteínas, grasas, carbohidratos y cenizas son cercanos a los que han sido encontrados en tubérculos de mashua ecotipo amarillo (Valcárcel et al., 2013; Velásquez y Velezmoro, 2018).

Los contenidos de antocianinas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la mashua morada fueron cercanos a los obtenidos por Chirinos et al. (2007) y Chirinos (2008a), quienes expresaron sus resultados en función de la materia seca, y la capacidad antioxidante reportada como ABTS [(2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] y ORAC (oxygen radical absorbance capacity).

Cuadro 1. Características químico-proximales de los tubérculos de mashua morada

Compuesto	Media ± SD
Humedad (%)	86,87±0,36
Proteínas (%)	1,23±0,04
Grasas (%)	0,13±0,003
Carbohidratos (%)*	11,41
Cenizas (%)	0,36±0,007
Antocianinas (mg·100 g PF)	186,07±1,67
Compuestos fenólicos (mg/100 g PF)	224,07±1,67
Capacidad antioxidante (µM Trolox/100 g PF)	2221,02±2,0

*Determinado por diferencia. PF: peso fresco

Longitud de los brotes. Los tratamientos con CIPC y tiempo de almacenamiento tuvieron un efecto significativo ($P \leq 0,05$) en la longitud de los brotes de los tubérculos de mashua morada. Los tubérculos no mostraron brotes en los primeros 30 días de almacenamiento, lo cual se atribuye al período de dormancia de los tubérculos, que puede ser alterado por efecto del desequilibrio fitohormonal, fisiológico y ambiental tal como ocurre en tubérculos como la papa (Sonnewald y Sonnewald, 2014); de hecho, en el presente estudio se observó crecimiento de los brotes sólo a los 60 y 90 de días de almacenamiento (Figura 1). Los tratamientos con CIPC no inhibieron el proceso de brotación de los tubérculos pero sí redujeron el crecimiento de los mismos y se formaron brotes de menor longitud al aumentar las dosis del producto en todos los períodos de evaluación. Esta inhibición de crecimiento de brotes por el CIPC se atribuye a la disminución de

los procesos fisiológicos relacionados a dormancia de los tubérculos. Paul et al. (2016) mencionan que el CIPC altera los procesos fisiológicos, inhibe la síntesis de proteínas, síntesis de ARN, actividad de la β -amilasa y suprime la transpiración y respiración, interfiere con la fosforilación y fotosíntesis. Además, Alamar et al. (2017) mencionan que el CIPC inhibe la división celular meristemática y retrasa el proceso de brotación y crecimiento de los brotes. Por otro lado, se observa que la tasa de crecimiento de los brotes en el tratamiento con $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ fue menor en el período final de almacenamiento lo que pudiera indicar que este tratamiento conservó una mayor concentración de CIPC residual en el tubérculo.

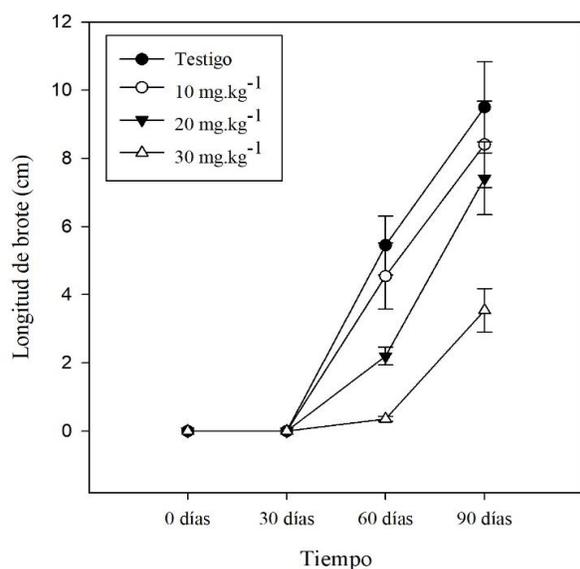


Figura 1. Efecto del tratamiento con CIPC y tiempo de almacenamiento en la longitud de brote de la mashua morada durante el almacenamiento postcosecha (las barras representan la desviación estándar, SD)

Pérdida de peso. El porcentaje de pérdida de peso de los tubérculos de mashua morada para los diferentes tratamientos del ensayo en las tres fechas de evaluación se presenta en el Cuadro 2. Como era de esperarse, los porcentajes de pérdida de peso se incrementaron a medida que transcurrió el tiempo de almacenamiento, pero fueron mayores en el tratamiento testigo en comparación con los tratamientos de 20 y $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de CIPC. En ninguna de las evaluaciones el tratamiento

testigo mostró diferencias significativas con la dosis de $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. La pérdida de peso de los tubérculos durante el almacenamiento se debe a que los mismos liberan agua libre a la superficie por efecto del déficit de presión de vapor (García et al., 2014). Velásquez et al. (2013) mencionan que las pérdidas de peso son incontrolables y tienen relación con la respiración y la brotación de los tubérculos

Los tratamientos de CIPC de $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ mostraron una menor pérdida de peso, seguida por los tratamientos de 20 y $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. La mayor inhibición en el porcentaje de pérdida de peso de los tubérculos tratados con altas concentraciones de CIPC podría estar relacionada con la longitud de brotes, la cual fue menor en los tubérculos tratados con estas concentraciones. Aliaga et al. (2011) manifiestan que los residuos de CIPC pudieron contribuir a una menor pérdida de peso de tubérculos de olluco porque amplían el periodo de dormancia de los mismos. Esto pudo ocurrir con los tratamientos de 20 y $30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ que probablemente acumularon mayor contenido de CIPC residual lo que conllevaría a una menor pérdida de peso y menor longitud de los brotes.

Contenido de antocianinas. Los tratamientos con CIPC y tiempo de almacenamiento tuvieron un efecto significativo ($P \leq 0,05$) en el contenido de antocianinas de los tubérculos (Cuadro 2). Este contenido decreció con el tiempo de almacenamiento pero fue mayor en los tratamientos con mayor dosis de CIPC. La mayor degradación en el contenido de antocianinas ocurrió en el tratamiento testigo a los 30, 60 y 90 días de almacenamiento en comparación con los tratamientos de CIPC. Se observó una menor degradación cuando se incrementó la dosis de CIPC a los 30 días y este comportamiento se mantuvo a los 60 y 90 días. Liu et al. (2017; 2018) sostienen que la disminución de las antocianinas en frutas es atribuida a la reducción de la biosíntesis o incremento de la degradación o una combinación de ambas, y a la expresión de genes biosintéticos tardíos que determinan la variación en cantidad de este pigmento. El nivel de transcripción de estos genes decrece durante la maduración lo que determina la decoloración, lo cual guarda relación con la reducción del contenido de antocianinas de los tubérculos de mashua morada donde la reducción fue mayor en

los tubérculos que no recibieron o recibieron bajas concentraciones de CIPC.

Algunos factores como la luz y temperatura pueden afectar el contenido de antocianinas, siendo mayor el contenido de antocianinas a bajas temperaturas y a baja exposición a la luz (Jaakola, 2013; Xu et al., 2015). En el presente estudio las temperaturas oscilaron entre 12 y 15 °C y el almacenamiento se realizó en oscuridad lo cual probablemente favoreció la síntesis del pigmento. Por otro lado, Chirinos et al. (2007) reportaron

que a los 35 días de almacenamiento de tubérculos de mashua morada se degradó un promedio el 70 % de las antocianinas iniciales por efecto de foto-blanqueamiento y oxidación o una combinación de ambas; esa alta degradación no concuerda con los valores obtenidos en este estudio puede atribuirse a que los autores sometieron los tubérculos a tiempos prolongados de exposición a la luz, lo que puede causar una mayor degradación de las antocianinas iniciales.

Cuadro 2. Pérdida de peso y compuestos bioactivos en tubérculos de mashua morada durante el almacenamiento postcosecha posterior a su exposición a CIPC

Tiempo de almacenamiento (días)	Tratamiento	Pérdida de peso (%)	Antocianinas monoméricas (mg·100 g)	Fenoles totales (mg·100 g)	Capacidad antioxidante (μmol Trolox·100 g)
30	Testigo	9,30 a	149,46 b	224,22 a	2051,16 a
	10 mg·kg ⁻¹	9,42 a	150,79 b	221,02 a	2067,16 a
	20 mg·kg ⁻¹	7,30 b	184,05 a	214,76 b	2065,76 a
	30 mg·kg ⁻¹	4,79 c	186,91 a	213,49 b	2034,83 b
60	Testigo	17,37 a	109,70 c	256,46 a	1883,50 b
	10 mg·kg ⁻¹	16,67 a	116,39 bc	250,31 a	1915,50 b
	20 mg·kg ⁻¹	13,47 b	122,57 b	243,62 b	2035,49 a
	30 mg·kg ⁻¹	11,87 b	146,16 a	230,94 c	2038,83 a
90	Testigo	27,15 a	64,02 c	276,45 a	2197,96 a
	10 mg·kg ⁻¹	27,62 a	67,47 c	269,87 b	2184,17 a
	20 mg·kg ⁻¹	26,16 a	88,11 b	261,73 c	2132,83 ab
	30 mg·kg ⁻¹	23,45 b	94,03 a	241,62 d	2104,16 b

Valores con distinta letra en la misma columna para cada tiempo de almacenamiento son diferentes entre sí según la prueba de DMS ($P \leq 0,05$); n = 3

Las mayores pérdidas de antocianinas fueron observadas en tubérculos que mostraron las más altas longitudes de brotes (Cuadro 2 y Figura 1). Por lo tanto, se podría mencionar que el contenido de antocianinas está relacionado al proceso de brotación en el tubérculo, de manera que se podría reducir la degradación de antocianinas al utilizar un inhibidor como CIPC en los tubérculos de mashua morada.

Compuestos fenólicos. El tiempo de almacenamiento y tratamientos con CIPC tuvieron un efecto significativo ($P \leq 0,05$) en el contenido de compuestos fenólicos de los tubérculos (Cuadro 2). Se puede observar que el tratamiento testigo

mostró mayor contenido de compuestos fenólicos que los tratamientos con CIPC a los 30, 60 y 90 días de almacenamiento. En todas las evaluaciones, el contenido de compuestos fenólicos disminuyó progresivamente a medida que aumentaron las dosis del producto, lo cual sugiere que las mayores concentraciones de CIPC habrían reducido la actividad fisiológica de los tubérculos de mashua morada con la consiguiente reducción del contenido de compuestos fenólicos. Por su parte, el aumento en el contenido de compuestos fenólicos podría estar relacionado al crecimiento de los brotes de los tubérculos de mashua, ya que los tratamientos con menores

longitudes de brotes presentaron un bajo contenido de compuestos fenólicos. Yamdeu et al. (2017) reportaron un incremento del contenido de fenoles totales en tubérculos de papa durante el almacenamiento a diferentes temperaturas. Así mismo, Külen et al. (2013) encontraron que algunos clones de papa morados almacenados a 4 °C mostraron un incremento en el contenido de fenoles totales durante siete meses de almacenamiento, incremento que podría ser atribuido al estrés ambiental debido a la baja temperatura de almacenamiento la cual puede activar enzimas que promueven el incremento del contenido de compuestos fenólicos (Jiang y Joyce, 2003; Reyes y Cisneros, 2003).

Capacidad antioxidante. El tiempo de almacenamiento y los tratamientos con CIPC tuvieron un efecto significativo ($P \leq 0,05$) en la capacidad antioxidante de los tubérculos de mashua morada (Cuadro 2). Con relación al efecto del CIPC, la concentración de 30 mg·kg⁻¹ se asoció con la menor capacidad antioxidante a los 30 y 90 días de almacenamiento, mientras que a los 60 días el efecto fue inverso y la misma concentración de CIPC indujo la mayor capacidad antioxidante. A los 30 días de almacenamiento todos los tratamientos tendieron a reducir dicha capacidad en comparación con los valores iniciales. A los 60 días de almacenamiento esta tendencia continuó en los tratamientos testigo y 10 mg·kg⁻¹ de CIPC. A los 90 días de almacenamiento de nuevo se observó un incremento en la capacidad antioxidante de los tubérculos, lo cual estuvo relacionado con el crecimiento de los brotes, con mayor capacidad antioxidante a mayores longitudes del brote (Figura 1).

La reducción de la capacidad antioxidante a los 60 días de almacenamiento podría estar relacionada, en parte, a la reducción del contenido de antocianinas que ocurrió en ese mismo período, mientras que el incremento a los 90 días parece más bien asociarse con el incremento del contenido de compuestos fenólicos, el cual se produjo ante cualquiera de las dosis de CIPC. Se ha reportado una alta relación entre el contenido de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en tubérculos de mashua, papa morada, papa amarilla, frutas y otros durante el almacenamiento postcosecha (Chirinos et al., 2007; Chirinos et al., 2008b; Madiwale et al.,

2011). Además, otros compuestos, como el caso de las vitaminas solubles, pueden incrementar la capacidad antioxidante de los productos almacenados (Gliszczynska, 2006).

Chirinos et al. (2007) encontraron comportamientos similares en variedades de mashua morada almacenadas y expuestas por 10 horas a la luz del sol, en las cuales se redujo la capacidad antioxidante durante el almacenamiento. Sin embargo, en el presente trabajo el almacenamiento se realizó en la oscuridad y las concentraciones de 10, 20 y 30 mg·kg⁻¹ de CIPC pudieron haber influido en la síntesis de compuestos antioxidantes.

CONCLUSIONES

La aplicación de Chlorpropham (CIPC) y el tiempo de almacenamiento afectaron el crecimiento de los brotes y el contenido de los compuestos bioactivos en los tubérculos de mashua morada. El producto no inhibió la formación de brotes pero causó reducción de la longitud de los mismos y disminución del porcentaje de pérdida de peso de los tubérculos durante el tiempo de almacenamiento, con un efecto mayor a medida que aumentó la concentración del producto. El contenido de antocianinas se redujo con el tiempo de almacenamiento pero la reducción fue menor con el aumento de las concentraciones de CIPC. Por el contrario, el contenido de compuestos fenólicos en los tubérculos aumentó con el tiempo de almacenamiento pero el incremento fue menor al aumentar las concentraciones de CIPC. En general, la capacidad antioxidante tendió a aumentar con el tiempo, aunque con notorias reducciones ante la dosis mayor de CIPC.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Huancavelica por financiar parte de este trabajo con fondos del proyecto FOCAM.

LITERATURA CITADA

1. Alamar, M.C., R. Tosetti, S. Landahl, A. Bermejo y L.A. Terry. 2017. Assuring Potato Tuber Quality during Storage: A Future Perspective. *Frontiers in Plant Science* 8: 1-6.

2. Aliaga, I., F. Velásquez, R. Mendoza y R. Chuquilín. 2011. Efecto de la aplicación de Chlorpropham en el brotamiento de tubérculos de olluco (*Ullucus tuberosus* L.) en condiciones de almacén. *Scientia Agropecuaria* 2: 91-96.
3. AOAC. 2012. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Methods: 925.09B, 920.39C, 960.52, and 985.29. Washington.
4. Bahukhandi, A., P. Dhyani, I.D. Bhatt y R.S. Rawal. 2018. Variation in Polyphenolics and Antioxidant Activity of Traditional Apple Cultivars from West Himalaya, Uttarakhand. *Horticultural Plant Journal* 4(4): 151-157.
5. Bahukhandi, A., S. Rawat, I.D. Bhatt y R.S. Rawal. 2013. Influence of solvent types and source of collection on total phenolic content and antioxidant activities of *Acorus calamus* L. *National Academic Science Letters* 36: 93-99.
6. Chirinos, R., D. Campos, C. Arbizu, H. Rogez, J-F. Rees, Y. Larondelle, G. Noratto y L. Cisneros-Zevallos. 2007. Effect of genotype, maturity stage and post-harvest storage on phenolic compounds, carotenoid content and antioxidant capacity, of Andean mashua tubers (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87(3): 437-446.
7. Chirinos, R., D. Campos, N. Costa, C. Arbizu, R. Pedreschi y Y. Larondelle. 2008a. Phenolic profiles of andean mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón) tubers: Identification by HPLC-DAD and evaluation of their antioxidant activity. *Food Chemistry* 106: 1285-1298.
8. Chirinos, R., D. Campos, M. Warnier, R. Pedreschi, J-F. Rees y Y. Larondelle. 2008b. Antioxidant properties of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) phenolic extracts against oxidative damage using biological *in vitro* assays. *Food Chemistry* 111: 98-105.
9. García, A., M. Pérez y A. García. 2014. Evaluación del comportamiento postcosecha de la batata (*Ipomea batatas* Lam) en condiciones de almacenamiento comercial. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 15(2): 177-186.
10. Giusti, M. M. y R.E. Wrolstad. 2001. Anthocyanins. characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. In: R.E. Wrolstad (ed.). *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. Wiley. New York. pp. F1.2.1-13.
11. Gliszczynska-Swiglo, A. 2006. Antioxidant activity of water soluble vitamins in the TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity) and the FRAP (ferric reducing antioxidant power) assays. *Food Chemistry* 96: 131-136.
12. Grau, A., D.R. Ortega, C.C. Nieto y M. Hermann. 2003. Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pav.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 25. J.M.M. Engels (ed.). CIP (International Potato Center). Lima, Peru/IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). Rome, Italy.
13. Guevara-Freire, D., L. Valle-Velástegui, M. Barros-Rodríguez, C. Vásquez, H. Zurita-Vásquez, J. Dobronski-Arcos y P. Pomboza-Tamaquiza. 2018. Nutritional composition and bioactive components of mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz and Pavón). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 21: 53-68.
14. Inostroza, L.A., A.J. Castro, E.M. Hernández, M. Carhuapoma, R.A. Yuli, A. Collado y J.S. Córdova. 2015. Actividad antioxidante de *Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón (mashua) y su aplicación como colorante para yogur. *Ciencia e Investigación* 18(2): 83-89.
15. Jaakola, L. 2013. New insights into the regulation of anthocyanin biosynthesis in fruits. *Trends Plant Science* 18: 477-483.
16. Jiang, Y. y D.C. Joyce. 2003. ABA effects on ethylene production, PAL activity, anthocyanin and phenolic contents of strawberry fruit. *Plant Growth Regulation* 39: 171-174.
17. Külen, O., C. Stushnoff y D.G. Holm. 2013. Effect of cold storage on total phenolics content, antioxidant activity and vitamin C level of selected potato clones. *Journal of the Science and Food Agriculture* 93(10): 2437-2444.
18. Liu, B., S. Zhao, F. Tan, H. Zhao, D.D. Wang, H. Si y Q. Chen. 2017. Changes in ROS

- production and antioxidant capacity during tuber sprouting in Potato. *Food Chemistry* 237: 205-213.
19. Liu, Y., Y. Tikunov, R.E. Schouten, L.F.M. Marcelis, R.G.F. Visser y A. Bovy. 2018. Anthocyanin Biosynthesis and Degradation Mechanisms in Solanaceous Vegetables: A review. *Frontiers in Chemistry* 6: 1-17.
 20. Madiwale, G.P., L. Reddivari, D.G. Holm y J. Vanamala. 2011. Storage Elevates Phenolic Content and Antioxidant Activity but Suppresses Antiproliferative and Pro-apoptotic Properties of Colored-Flesh Potatoes against Human Colon Cancer Cell Lines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(15): 8155-8166.
 21. Paul, V., R. Ezekiel y R. Pandey. 2016. Sprout suppression on potato: need to look beyond CIPC for more effective and safer alternatives. *Journal of Food Science and Technology* 3(1): 1-18.
 22. Pisoschi, A.M., M.C. Cheregi y A.F. Danet. 2009. Total Antioxidant Capacity of Some Commercial Fruit Juices: Electrochemical and Spectrophotometrical Approaches. *Molecules* 14: 480-493.
 23. Quispe, C., R. Mansilla, A. Chacón y R. Blas. 2015. Análisis de la variabilidad morfológica del “Añu” *Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón procedente de nueve distritos de la región Cusco. *Ecología Aplicada* 14: 211-222.
 24. Ramallo, R., J-P. Wathelet, E.L. Boulenge, E. Torres, M. Marlier, J-F. Ledent, A. Guidi y Y. Larondelle. 2004. Glucosinolates in isaño (*Tropaeolum tuberosum*) tubers: qualitative and quantitative content and changes after maturity. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 701-706.
 25. Reyes, L.F. y L. Cisneros-Zevallos. 2003. Wounding stress increases the phenolic content and antioxidant capacity of purple-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(18): 5296-5300.
 26. Rosenthal, S. y S. Jansky. 2008. Effect of production site and storage on antioxidant levels in specialty potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88 (12): 2087-2092.
 27. Singleton, V.L., R. Orthofer y R.M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology* 299: 152-178.
 28. Sonnewald, S. y U. Sonnewald. 2014. Regulation of potato tuber sprouting. *Planta* 239: 27-38.
 29. Thaipong, K., U. Boonprakob, C. Crosby, L. Cisneros-Zevallos y D.H. Byrne. 2006. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 669-675.
 30. Valcárcel-Yamani, B., G. Rondán-Sanabria y F. Finardi-Filho. 2013. The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Science* 49(3): 553-464.
 31. Valle-Parra, M., P. Pomboza-Tamaquiza, M. Buenaño-Sánchez, D. Guevara-Freire, P. Chasi-Vizúete, C. Vásquez y M. Pérez-Salinas. 2018. Morphology, phenology, nutrients and yield of six accessions of *Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pav (mashua). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 21: 131-139.
 32. Velásquez-Barreto, F., R. Mendoza y I. Aliaga. 2013. Inhibición del brotamiento de tubérculos de papas nativas (*Solanum* sp.) durante el almacenamiento postcosecha. *Agroindustrial Science* 3(1): 53-58.
 33. Velásquez-Barreto, F. y C. Velezmoro. 2018. Rheological and viscoelastic properties of Andean Tubers starches. *Scientia Agropecuaria* 9(2): 189-197.
 34. Xu, W., C. Dubos y L. Lepiniec. 2015. Transcriptional control of flavonoid biosynthesis by MYB-bHLH-WDR complexes. *Trends Plant Science* 20: 176-185.
 35. Yamdeu, J.H.G., P.M. Mankad, A.K. Shah, N.J. Patel, R.R. Acharya y J.G. Talati. 2017. Effect of Storage Temperature on Vitamin C,

Total Phenolics, UPLC Phenolic Acid Profile
and Antioxidant Capacity of Eleven Potato

(*Solanum tuberosum*) Varieties. Horticultural
Plant Journal 3(2): 73-89.