

Composición Fisicoquímica y Propiedades Antioxidantes de Genotipos Nativos de Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja)

María Cerón-Lasso^{(1)*}, Andrés F. Alzate-Arbeláez⁽²⁾, Benjamín A. Rojano⁽²⁾, Carlos E. Núñez-Lopez⁽³⁾

(1) Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria- Red de Raíces y Tubérculos, Centro de Investigación Tibaitatá, Km 14 vía Mosquera, Cundinamarca, Colombia (e-mail: mceron@corpoica.org.co)

(2) Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Cl 59ª # 63-20, Medellín, Antioquia, Colombia.

(3) Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Cra 30 N° 45-03 Edificio 500, Bogotá, Colombia. Colombia.

*Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia.

Recibido Ago. 23, 2017; Aceptado Nov. 3, 2017; Versión final Dic. 4, 2017, Publicado Jun. 2018

Resumen

Se han estudiado las propiedades antioxidantes y composición fisicoquímica de 21 genotipos de papas criollas *Solanum tuberosum* (Phureja). Se determinó el contenido de humedad, cenizas, proteínas, almidón, azúcares totales y reductores, actividad antioxidante (ABTS y FRAP), fenoles totales y vitamina C. El análisis fisicoquímico mostró variaciones genotípicas significativas en muestra cruda. La humedad entre 72,06% - 77,07%; cenizas 0,96% - 2,56%; proteínas 6,95% - 11,38% BS; almidón 14,44% - 22,4%; azúcares totales BH 16,38%-23,67% y azúcares reductores BH 0,88%-3,8%. El perfil antioxidante evidenció diferencias genotípicas. ABTS entre 4408 - 12543 (crudo) y 6644 a 14492 (cocidas) μmol de Trolox/100g BS. FRAP de 76,4 a 203,2 (crudo) y de 121,6 a 324,8 (cocidas) mg ácido ascórbico/100 g BS. Los fenoles en muestras cocidas fueron mayores que en crudo (245,2 -524,8 y 161,6 - 442,7 mg de ácido gálico/100 g BS, respectivamente, la vitamina C disminuyó entre 33,07% a 68,8% luego de cocción.

Palabras clave: capacidad antioxidante; papa diploide; análisis fisicoquímico; nutraceuticos; *Solanum tuberosum*

Physicochemical Composition and Antioxidant Properties of Native Diploid Potato (*Solanum tuberosum* Phureja Group)

Abstract

The antioxidant properties and physicochemical composition of 21 genotypes of diploid potato (*Solanum tuberosum* Phureja Group) were studied. The content of moisture, ash, proteins, starch, total and reducing sugars, antioxidant activity (ABTS and FRAP), total phenols and vitamin C were determined. The physicochemical analysis showed significant genotypic variations in raw sample. Humidity between 72.06% - 77.07%; Ash 0.96% - 2.56%; Proteins 6.95% - 11.38% DB; Starch 14.44% - 22.4%; Total sugars WB 16.38% -23.67% and reducing sugars WB 0.88% -3.8%. The antioxidant profile showed genotypic differences. ABTS between 4408 - 12543 (raw) and 6644 to 14492 (cooked) μmol Trolox / 100g DB. FRAP from 76.4 to 203.2 (raw) and from 121.6 to 324.8 (cooked) ascorbic acid / 100 g DB. The phenols in cooked samples were higher than in crude (245.2 -524.8 and 161.6 - 442.7 mg gallic acid/100 g BS, respectively, vitamin C decreased from 33.07% to 68.8 % after cooking.

Keywords: antioxidant capacity; diploid potato; physicochemical analysis; nutraceuticals; *Solanum tuberosum*

INTRODUCCION

La papa en Colombia es un producto de alto consumo (61,4 kg *per cápita/año*), es el principal sistema de producción de clima frío. La superficie de cultivo en 2014 fue de 142.108 ha con producción estimada de 2.157.568 t, de las cuales la papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja) aportó 9.954,9 ha con producción de 132.323,5 t. Las principales zonas productoras de papa criolla son: Cundinamarca (3081,25 ha), Boyacá (1905,0 ha), Nariño (1601,0 ha) y Antioquia (1540,0 ha) (AGRONET, 2016). Las propiedades nutricionales de las papas han sido ampliamente estudiadas y reportadas, se resalta su aporte de carbohidratos, proteínas y fibra dietaria como componentes mayoritarios; vitaminas del complejo B como tiamina (B1), niacina (B3) y B6, así como vitamina C, y los minerales: magnesio, hierro, calcio, potasio y fósforo (Zaheer and Akhtar, 2016)

La papa es importante fuente de nutrientes en la dieta humana, aporta sustancias bioactivas que presentan actividad antioxidante; destacándose como un alimento completo. Los compuestos presentes en los tubérculos de papa con potencial antioxidante son: ácido ascórbico, α -tocoferol, carotenoides, diferentes polifenoles y ácidos fenólicos como el ácido clorogénico, principal representante de este grupo. Tanto la carne como la cáscara de la papa contienen sustancias antioxidantes, se ha demostrado que la mayoría de los compuestos fenólicos se encuentran en la cáscara, derivados mayoritariamente del ácido caféico y ácido ferúlico, estimulando así el aprovechamiento de este subproducto en la industria alimentaria (Akyol *et al.*, 2016). Los antioxidantes cumplen funciones protectoras frente a desordenes propios del equilibrio redox del organismo, disminuyendo los efectos adversos que causan radicales libres, principalmente las especies reactivas de oxígeno que se derivan de la respiración celular. La determinación de la capacidad antioxidante *in vitro* de un alimento proporciona una medida de su poder redox o comportamiento antirradical dentro de los tejidos y células corporales tras situaciones de estrés oxidativo (Bianchi y Falcioni, 2016).

Diversas accesiones de *Solanum tuberosum* han mostrado valores de capacidad antioxidante comparativamente más altos que otros cultivos de igual importancia como arroz, trigo y maíz. Varios genotipos de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *andigena*) presentan colores rojizos y púrpuras tanto en cáscara como en carne, estos colores se deben a la presencia de antocianinas en el tubérculo (Burgos *et al.*, 2013). Colombia posee amplia diversidad genética en papa del Grupo Phureja, elevado consumo nacional y alta tradición de cultivo en la comunidad campesina y buen consumo nacional, el objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial antioxidante y la composición físicoquímica de 21 genotipos de papa criolla *Solanum tuberosum* Grupo Phureja sembrados en el Municipio de El Rosal (Cundinamarca-Colombia).

MATERIALES Y METODOS

El experimento se realizó en El Municipio de El Rosal (Cundinamarca, Colombia) a 4°52'32.62"N; 74°15'17.61"O y 2689 msnm, con temperatura promedio de 15,6 °C, precipitación media de 825,94 mm, humedad relativa de 86,54%, suelos de textura limosa, pH 5,24 y fertilización media. Se sembró en abril de 2014 y se cosechó en agosto del mismo año. Se evaluaron 21 genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja), procedentes del Banco de Germoplasma Vegetal que administra CORPOICA, relación que se presenta en la figura 1. Se sembraron bajo el diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones, unidad experimental de 3 surcos por 5 m de longitud (15 m²). De cada unidad experimental se cosechó el surco central, separando tres plantas, de las que se tomó una muestra al azar de diez tubérculos para las respectivas evaluaciones físicoquímicas, capacidad antioxidante, fenoles totales y vitamina C, realizando en triplicado por cada repetición de campo. Las prácticas agronómicas fueron las convencionales para el cultivo de papa criolla. Se realizó control manual de malezas, aplicación de fungicidas para manejo de la goma (*Phytophthora infestans* (Mont) de Bary) y el manejo de insectos plaga según necesidades. La fertilización se realizó con el compuesto 13-26-6 en dosis de 22 g/planta en la siembra.

Los tubérculos fueron cosechados con madurez fisiológica entre 110 a 119 días. Para muestras frescas y cocidas, se tomaron en forma independiente tres tubérculos de tres plantas del surco central de cada unidad experimental; fueron lavados con agua corriente y destilada. Los tubérculos para procesar en fresco se cortaron de forma longitudinal (peso de muestra 50 g), se congelaron con nitrógeno líquido y se llevaron a conservación a -70,8 °C. Posteriormente, se liofilizaron, molieron, pasaron por tamiz No. 40 y fueron almacenados hasta los análisis. Para tubérculos cocidos las muestras se cocieron a 90 °C por 9 min. Se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se conservaron a -70,8 °C hasta su liofilización, luego estas muestras liofilizadas se almacenaron hasta los análisis a -70,8 °C. Para la composición físicoquímica, se realizaron los porcentajes de humedad, materia seca, proteínas, azúcares reductores, azúcares totales, almidón y cenizas.



Fig. 1: Genotipos nativos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja), cultivados en Colombia

Humedad y Materia Seca

El contenido de materia seca se cuantificó por medio del método AOAC 925.10 (AOAC, 2005). La humedad se calculó por diferencia de peso.

Proteínas en base humedad y base seca

Cuantificadas por el método colorimétrico de Biuret de la AOAC 935.11 (AOAC, 2005) que se basa en la reacción de las proteínas y péptidos con iones de cobre en solución alcalina, formando un quelato color violeta. Se utilizó como patrón de referencia albúmina sérica bovina. Las mediciones se realizaron en un equipo Spectronic20® a una longitud de onda de 540 nm.

Azúcares reductores

Los tubérculos crudos fueron licuados, una porción de 0,5-1g fue disuelta hasta completar un volumen de 100 mL con agua destilada, luego fue homogenizada y centrifugada a 2500 rpm por 10 min. A 1 mL de sobrenadante con 0,5 mL con DNS (ácido 3,5 dinitrosalicílico) reaccionaron en baño maría durante 5 min. Se enfrió en baño de hielo y se tomaron lecturas en el espectrofotómetro Spectronic20® a una longitud de onda de 540 nm (Miller, 1959). La curva patrón empleada se realizó en concentraciones de 0,11; 0,17; 0,23; 0,36; 0,41 y 0,5 mg/mL

Azúcares totales

Para su determinación se adicionó a la muestra del tubérculo crudo ácido clorhídrico por 1 min con el fin de realizar un rompimiento de las cadenas de los azúcares no reductores en monosacáridos y se determinaron con el método de Miller (1959).

Almidón

Hace parte de los azúcares no reductores, se determinaron por diferencia entre los azucares totales y reductores (Zárate-Polanco *et al.*, 2014).

Cenizas

Para cuantificar las cenizas se empleó el método de la AOAC 940.26 (AOAC, 2005), se pesaron 4-5 g de papa que fueron llevados a un crisol de porcelana previamente pesado, se calcinó en estufa a 500 °C durante 2 h hasta obtener cenizas de color blanco.

Método del radical catiónico ABTS

La capacidad para atrapar radicales libres, se realizó empleando el método del radical catiónico ABTS [2,2'-Azino-bis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico) sal diamonio]. Se mezclaron en tubos de ensayo 10 µL de muestra y 990 µL de solución de ABTS, por separado se preparó una referencia y un blanco, en el caso de la referencia se utilizaron 10 µL del solvente de la muestra más 990 µL de ABTS, 734 nm, y 30 min de reacción a temperatura ambiente. El cálculo de la actividad antioxidante se realizó empleando una curva de calibración y usando Trolox como antioxidante de referencia, los resultados fueron reportados como TEAC: *Trolox Equivalent Antioxidant Capacity* (µmol de Trolox/100 g de muestra liofilizada-BS) (Re *et al.*, 1999).

FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power)

El poder reductor en muestras de papa se evaluó mediante la metodología de Benzie y Strain (1996), con modificaciones menores. La mezcla de reacción estaba formada por: FeCl₃, tripiridil triazina y buffer de acetatos a pH 3,4. Las cantidades para el ensayo fueron las siguientes: 900 µL de la solución anterior, 50 µL de muestra y 50 µL de solución de buffer acetato pH 3,4. Transcurridos 30 min de reacción se determinó la absorbancia a una longitud de onda de 593 nm. La curva de calibración se construyó usando ácido ascórbico como estándar. El poder reductor de las papas se expresó como AEAC (*ascorbic acid equivalent antioxidant capacity*: mg de ácido ascórbico/100 g de muestra liofilizada-BS)

Fenoles Totales

Se determinó siguiendo el procedimiento descrito por Zapata *et al.*, 2013. En tubos de ensayo se adicionaron los siguientes reactantes: 50 µL de muestra, 125 µL de reactivo de *Folin-Ciocalteu*, 400 µL de carbonato de sodio al 7,1% y 425 µL de agua tipo I. Se preparó un blanco sustituyendo el reactivo de *Folin* por agua tipo I. La mezcla reaccionó durante 1 h, finalizado este período se registró la absorbancia a 760 nm. Los fenoles totales se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico (AG), la unidad de medida es mg Eq AG/100 g de muestra liofilizada (BS).

Ácido Ascórbico

Se cuantificó como vitamina C en los tubérculos mediante cromatografía líquida, según lo descrito por Shakya y Navarre (2006) con algunas modificaciones. Se utilizó un cromatógrafo Shimadzu® de la línea Prominence®. La fase móvil fue una solución de ácido fórmico al 0,1% en agua purificada, mediante sistema de elución isocrático y flujo de 0,8 ml/min. La fase estacionaria fue una columna LiChrospher® 100 RP-18 (5 µm) Merck® de dimensiones: largo 250 mm y diámetro interno de 4 mm mantenida a una temperatura de 35 °C durante todo el análisis. Se inyectaron 20 µL de muestra, el contenido de vitamina C fue calculado mediante una curva de calibración usando estándar de ácido ascórbico (AA) grado HPLC (Sigma-Aldrich). El tiempo de retención mostrado por el estándar fue de 3,9 min y su detección por medio de PDA a 245 nm. La vitamina C se expresó como mg Eq AA/100 g de muestra liofilizada (BS).

Análisis estadístico

Para establecer el efecto de los genotipos evaluados sobre las variables consideradas, se realizaron los análisis de varianza (ANOVA), previo cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad de los residuales. Estos análisis fueron complementados con pruebas de comparación múltiple de Tukey ($\alpha=0,05$). Los procedimientos estadísticos fueron realizados utilizando programa SAS versión 9.3.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados del análisis físicoquímico en muestras crudas mostraron diferencias para los genotipos evaluados en las variables en estudio, excepto en proteínas (Tabla 1). El rango en materia seca (MS) osciló entre $22,76\% \pm 0,77$ y $27,94\% \pm 1,12$; los genotipos G2589, G2585 y G1997, obtuvieron los mayores porcentajes de MS, fueron superiores a los genotipos G0204, G2599 y G1781 e iguales a los restantes genotipos (tabla 2). Un elevado contenido de materia seca es deseable para la obtención de productos derivados como papas fritas con elevada calidad, evitando la presencia de colores y sabores desagradables y economizando aceite en el proceso de freído (Loyola *et al.*, 2010). El contenido de MS de los genotipos evaluados en el presente trabajo concuerda con lo reportado por Dale *et al.* (2003) quienes estudiaron 33 genotipos de *S. tuberosum* cultivados en tres sitios geográficamente diversos en Europa: Inglaterra, Italia y Alemania.

Tabla 1: Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables físicoquímicas en tubérculos de los genotipos evaluados (*S. tuberosum* Grupo Phureja) ¹expresado en porcentaje * =Diferencias significativas. ** = Diferencias altamente significativas.

F.V.	G.L.	Materia Seca ¹	Proteína BH ¹	Almidón ¹	Humedad ¹	Cenizas ¹	Azúcares Totales ¹	Azúcares Reductores ¹
Bloque	2	1,713	0,071	0,078	1,713	0,094	0,355	0,112
Genotipos	20	6,453**	0,233	10,71**	6,453**	0,502**	8,371**	1,835**
Error	40	1,578	0,138	2,168	1,578	0,120	2,009	0,098
C.V.		4,99	16,64	7,99	1,68	25,12	6,94	15,79

Tanto en azúcares no reductores como en almidón, se encontraron diferencias significativas; en la segunda variable destacan los genotipos G2589, C. Colombia, G2591 y G2020, que poseen valores mayores a 20%, lo que los convierte en potenciales para la obtención de almidones nativos como materia prima de diversos productos alimenticios. Lo opuesto ocurrió con los genotipos: G0204, G1781, G0077 y G2021, con 14,4% a 16,9 % (Tabla 2); estudios reportados por Ngobese *et al.* (2017), confirman la variación en el contenido de almidones al estudiar ocho cultivares de *Solanum tuberosum* sembrados en Sudáfrica; las variedades Navigator e Innovator obtuvieron el valor más alto en su orden 18,1 y 17,9%, que los demás cultivares (13,7 y 15,4%).

Las proteínas en base húmeda (BH) mostraron un rango entre $1,73\% \pm 0,19$ y $2,81\% \pm 1,18$ y de 6,95% a 11,38% en base seca (BS), sin diferencias entre genotipos (Tabla 2). Rodríguez *et al.* (2011), reportaron en genotipos del Grupo Phureja cultivados en Colombia, la heredabilidad del contenido de proteína total en 103 familias F1 de hermanos medios maternos, bajo diferentes métodos estadísticos, entre 28% y 41%, con un incremento de proteína entre 0,55 a 0,79; el alto consumo del tubérculo de papa de la población alto andina, incidirá favorablemente en la ingesta de proteínas en la dieta, aunque la papa no es una fuente abundante en proteínas si aporta la mayoría de aminoácidos esenciales como: isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, y valina, (Ježek *et al.*, 2011).

El genotipo G2599 con 2,56% de cenizas en BH, presentó el mayor valor, siendo similar a los valores observados en cinco genotipos adicionales: G2588, G2591, G2594, G2586 y G1781 con porcentajes entre 1,77% y 2,05% y superior al genotipo testigo Criolla Colombia con 1,32%. El rango de la variable osciló entre 0,96% y 2,56% (Tabla 2); Peña *et al.* (2015), reportaron en el Grupo Phureja cultivados en Nariño, Colombia, valores de cenizas desde 0,7 a 1,1 g/ 100 g. peso fresco, menores a los encontrados en este estudio. La variación de los genotipos en estudio evidencia un amplio rango en el contenido mineral, explicado en parte por condiciones del suelo y características genéticas de fijación de micronutrientes.

Los genotipos evaluados presentaron diferencias en el contenido de azúcares totales. G2589 obtuvo la mayor cuantificación con 23,67% en BS y el menor valor lo obtuvo G0204 con 16,38% de BS. El menor porcentaje de azúcares reductores se obtuvo en los genotipos G2591 y G2594 con 0,88% y 0,98% de BS en su orden, característica importante para la utilización de los tubérculos en procesos de poscosecha como fritura. Tanto para los azúcares totales como reductores (Tabla 2), concuerdan con la literatura reportada por (Peña *et al.*, 2015).

Tabla 2. Análisis físicoquímico en tubérculos de genotipos cosechados en el Municipio de El Rosal, Cundinamarca, Colombia. *Resultados expresados en porcentaje \pm SD. Letras diferentes demuestran diferencias significativas, Tukey ($p < 0,05$).

Genotipos	Materia Seca (MS) (%)	Almidón (%)	Proteínas BH (%)	Proteínas BS (%)	Cenizas BH (%)	Azúcares Totales BS (%)	Azúcares Reductores BS (%)
G2589	27.94 \pm 1.12a	22.4 \pm 1.0a	2.05 \pm 0.06a	7.35 \pm 0.06a	1.1 \pm 0.14bc	23.67 \pm 0.95a	1.27 \pm 0.12ghi
G2585	27.55 \pm 0.82a	17.64 \pm 2.9bcd	2.15 \pm 0.37a	7.80 \pm 0.37a	1.32 \pm 0.2bc	19.52 \pm 2.3a-d	1.88 \pm 0.6d-g
G1997	27.30 \pm 0.94a	19.85 \pm 0.08ab	2.33 \pm 0.12a	8.41 \pm 0.12a	1.03 \pm 0.0bc	22.25 \pm 0.21ab	2.40 \pm 0.29cde
G2591	26.64 \pm 1.01ab	20.30 \pm 1.0ab	2.04 \pm 0.67a	7.66 \pm 0.67a	1.95 \pm 0.46abc	21.17 \pm 0.63abc	0.88 \pm 0.26hi
G2594	26.48 \pm 1.38ab	19.65 \pm 0.35abc	2.25 \pm 0.53a	8.5 \pm 0.53a	1.57 \pm 0.62abc	20.65 \pm 0.54a-d	0.98 \pm 0.74hi
G2515	25.89 \pm 0.0ab	16.69 \pm 0.0bcd	2.70 \pm 0.0a	10.44 \pm 0.0a	1.05 \pm 0.0bc	18.68 \pm 0.0bcd	1.99 \pm 0.0c-g
G1989	25.80 \pm 0.0ab	19.74 \pm 0.0ab	2.61 \pm 0.0a	10.12 \pm 0.0a	1.34 \pm 0.0bc	21.69 \pm 0.0abc	1.95 \pm 0.0c-h
C. Colombia	25.67 \pm 2.45ab	20.40 \pm 0.07ab	2.25 \pm 0.20a	8.75 \pm 0.20a	1.32 \pm 0.22bc	21.77 \pm 0.57abc	1.40 \pm 0.50f-i
G1980	25.65 \pm 1.16ab	19.23 \pm 0.95abc	2.15 \pm 0.28a	8.39 \pm 0.28a	1.27 \pm 0.20bc	20.61 \pm 1.03a-d	1.38 \pm 0.14f-i
G2596	25.20 \pm 1.70ab	19.64 \pm 3.35abc	1.92 \pm 0.45a	7.62 \pm 0.45a	1.19 \pm 0.56bc	21.09 \pm 3.46abc	1.44 \pm 0.19e-i
G2588	25.17 \pm 0.47ab	17.78 \pm 0.47bcd	2.36 \pm 0.51a	9.38 \pm 0.51a	2.05 \pm 0.16ab	19.71 \pm 0.38a-d	1.93 \pm 0.11c-h
G2027	24.91 \pm 1.07ab	17.36 \pm 0.36bcd	1.73 \pm 0.19a	6.95 \pm 0.19a	1.05 \pm 0.0bc	20.26 \pm 0.06a-d	2.90 \pm 0.3abc
G2020	24.76 \pm 0.42ab	20.24 \pm 0.96ab	2.35 \pm 0.33a	9.48 \pm 0.33a	1.21 \pm 0.44bc	22.21 \pm 0.74ab	1.97 \pm 0.22c-g
G2593	24.69 \pm 4.09ab	18.26 \pm 3.63a-d	2.81 \pm 1.18a	11.38 \pm 1.18a	1.07 \pm 0.16bc	20.77 \pm 3.30a-d	2.51 \pm 0.33bcd
G2586	24.42 \pm 0.81ab	18.53 \pm 0.81a-d	2.04 \pm 0.19a	8.17 \pm 0.19a	1.67 \pm 1.01abc	19.69 \pm 0.66a-d	1.15 \pm 0.14ghi
G0077	24.34 \pm 1.17ab	16.77 \pm 0.59bcd	1.94 \pm 0.11a	7.97 \pm 0.11a	1.1 \pm 0.21bc	19.61 \pm 0.45a-d	2.83 \pm 0.14a-d
G2590	24.08 \pm 0.38ab	18.12 \pm 0.85a-d	1.91 \pm 0.11a	7.94 \pm 0.11a	1.34 \pm 0.44bc	19.51 \pm 1.09a-d	1.38 \pm 0.24f-i
G2021	24.05 \pm 0.11ab	16.92 \pm 0.26bcd	2.18 \pm 0.22a	9.06 \pm 0.22a	0.96 \pm 0.08bc	20.31 \pm 0.40a-d	3.40 \pm 0.14ab
G0204	22.95 \pm 0.79b	14.44 \pm 1.40d	2.58 \pm 0.05a	11.19 \pm 0.05a	1.11 \pm 0.11bc	16.38 \pm 1.59cd	1.94 \pm 0.19c-h
G2599	22.93 \pm 0.0b	18.08 \pm 0.0a-d	2.41 \pm 0.0a	7.33 \pm 0.0a	2.56 \pm 0.0a	21.88 \pm 0.0ab	3.80 \pm 0.0a
G1781	22.75 \pm 0.77b	15.07 \pm 0.90cd	2.21 \pm 0.21a	9.69 \pm 0.21a	1.77 \pm 0.64abc	17.39 \pm 1.02cd	2.33 \pm 0.24c-f

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante de genotipos de papa criolla colombiana *S. tuberosum* grupo Phureja fue evaluada mediante dos metodologías ABTS⁺⁺ y FRAP. En la primera se determinan moléculas antioxidantes que ejercen su acción mediante un mecanismo de transferencia de protones (HAT); en la metodología FRAP se determina el poder reductor mediante transferencia de electrones desde los antioxidantes hasta un átomo de Fe³⁺, provocando su reducción. Ambas metodologías son complementarias y permiten caracterizar adecuadamente una compleja matriz alimentaria como son las papas, (Liu 2010; Benzie y Szeto, 1999). Las muestras fueron evaluadas crudas y cocidas con el fin de conocer la incidencia del proceso de cocción sobre la calidad nutracéutica.

En la actividad antioxidante (ABTS y FRAP) se presentaron diferencias significativas entre genotipos, de igual manera para el tipo de muestra (crudo y cocido) y la interacción genotipo por tipo de muestra (Tabla 3).

ABTS

En los genotipos estudiados, se encontró variación en la actividad antioxidante por ABTS, el rango en muestra cruda fue de 4408,3 \pm 300,8 y 12542,8 \pm 113,2 con una media de 7665,15, mientras que en muestra cocida varió entre 6643,8 \pm 246,7 a 14492,9 \pm 378,12 con una media de 9452,05 TEAC- μ mol de Trolox/100g BS, la tasa de retención luego del proceso de cocción osciló entre 1,08 a 1,76 veces (Fig. 2), observando un aumento significativo de la actividad antioxidante luego del proceso de cocción. Este resultado concuerda con lo reportado por Navarre *et al.* (2010), la capacidad antioxidante aumento de 28,7 en muestra cruda a 36,3 μ mol Trolox/g peso seco después del cocido en puré de la variedad *Purple Majesty*, cultivada en Washington Estados Unidos.

Tabla 3: Cuadrados medios para capacidad antioxidante (ABTS-FRAP), fenoles totales y vitamina C en genotipos evaluados (*S. tuberosum* Grupo Phureja)

F.V.	G.L.	ABTS	FRAP	Fenoles totales	Vitamina C
Bloque	2	1163,2	102,33	366,05	0,57
Tipo muestra (TM)	1	92151234,00**	309441,24**	171183,71**	2044,84**
Genotipos (Genot)	20	17892542,60**	10174,76**	28351,86**	5,19*
TM* Genot	20	1130970,70**	1577,38**	1453,09**	5,31*
Error	80	59874,8	116,492	216,42	2,655
Total	123				
C.V.		2,84	6,83	4,87	14,57

ABTS (TEAC- μmol Trolox/100g BS); FRAP (mg ácido ascórbico/100 g BS); Fenoles totales (mg ácido gálico (GAE)/100 g BS). Vitamina C (mg de ácido ascórbico/100 g BS). * =Diferencias significativas. ** = Diferencias altamente significativas.

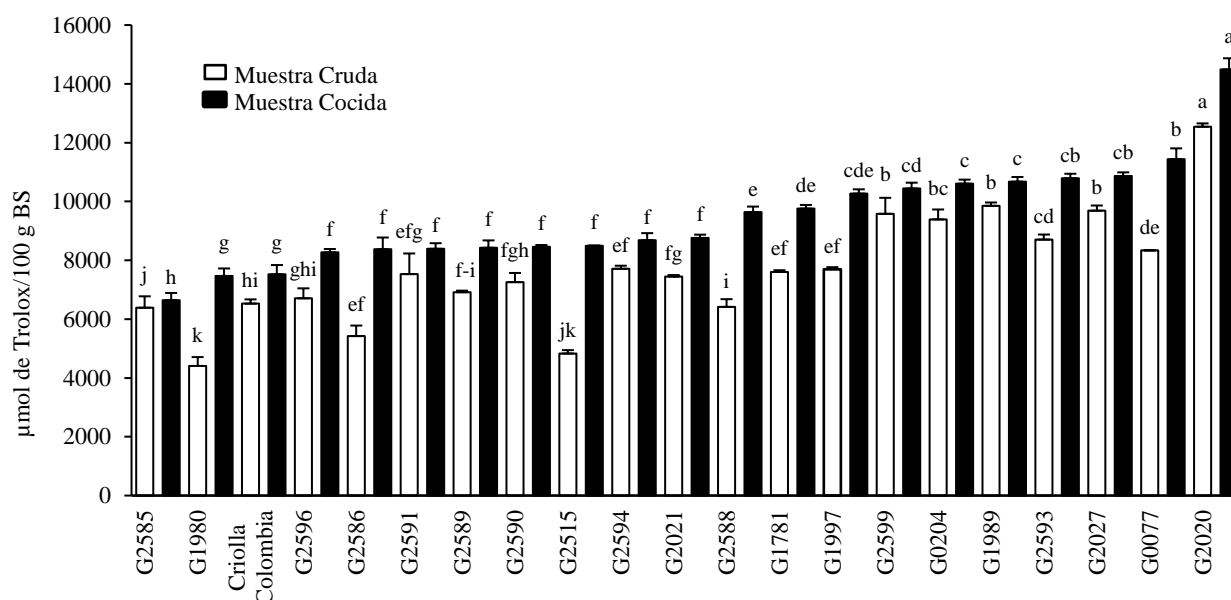


Fig. 2: Valores de ABTS dado en μmol de Trolox/100 g BS, para 20 genotipos de papas nativas y la variedad Criolla Colombia (*S. tuberosum* Grupo Phureja). Letras diferentes demuestran diferencias significativas, Tukey ($p < 0,05$)

Cuatro fueron los genotipos que obtuvieron mayores valores de la actividad antioxidante por ABTS: G2020, G2599, G0204, G2593; destacándose el genotipo G2020 en muestra cruda $12542,8 \pm 407,6$ y en muestra cocida $14492,9 \pm 378,12$ μmol de Trolox/100g BS. Le siguieron tres genotipos que también superaron a los demás genotipos en estudio (G2599, G1989, G2593) (Fig. 2). Estos resultados fueron similares a lo reportado por Al-Weshahy y Rao (2009). La mayor expresión de ABTS se obtuvo en genotipos de colores rojo y morado oscuro en la cáscara, luego del proceso de cocción; resultados similares fueron descritos por Rosenthal y Jansky (2008) en clones de tubérculos con piel y carne intensamente púrpura o roja, cultivados en Estados Unidos.

Los 11 genotipos de color amarillo en su cáscara y pulpa tuvieron menores valores de la actividad antioxidante por ABTS (Fig. 2), resultados afines fueron mostrados por Grudzińska *et al.* (2016), donde la tasa de retención de crudo a cocida fue de 1,76 veces. En el estudio sobresalieron: G2594 en muestra cruda $7712,7 \pm 104,1$ y en muestra cocida $8684,1 \pm 240,5$ y G2586 en muestra cruda $7568,9 \pm 357,2$ y en muestra cocida $8377 \pm 397,6$ μmol de Trolox/100g BS. (Fig. 2).

FRAP

La respuesta del poder reductor (FRAP), en los genotipos evaluados en muestras crudas y cocidas mostraron cambios significativos en la actividad antioxidante con un aumento para las muestras cocidas; la tasa de retención luego del proceso de cocción estuvo entre 1,59 a 2,35 veces más. Los resultados concuerdan con los reportados por Bontempo *et al.* (2013); menores valores de los reportados fueron obtenidos por Al-Weshahy y Rao (2009) con valores que están entre 0,43 a 1,07 mg/100g BS.

En el estudio se destacaron los genotipos de cáscara roja por su alto valor de actividad antioxidante medido por FRAP, el rango osciló en muestras crudas entre $76,4 \pm 16$ a $203,25 \pm 4,7$ y en muestras cocidas entre $121,6 \pm 14$ a $324,81 \pm 5$ mg ácido ascórbico/100 g BS, la tasa de retención luego del proceso de cocción estuvo entre 1,6 a 2,35 veces más. Sobresalió el genotipo G2020 en muestra cruda $203,25 \pm 4,7$ y en cocida $324,81 \pm 5,0$ mg ácido ascórbico/100 g BS. (Fig. 3), siendo significativamente superior a los demás genotipos estudiados.

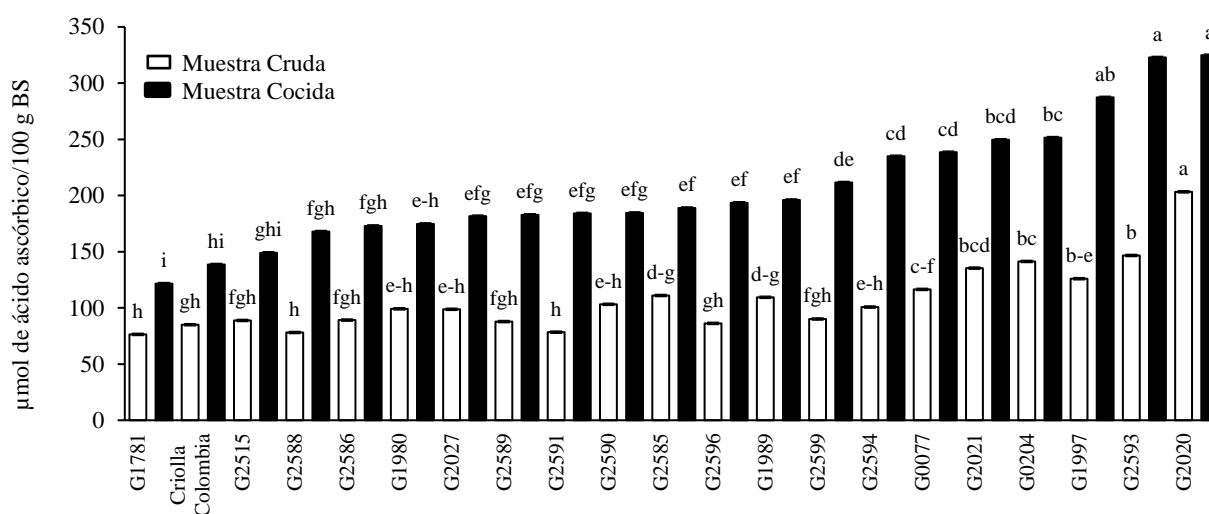


Fig. 3: Valores de FRAP dado en μmol de ácido ascórbico/100 g BS, para 20 genotipos de papas nativas y la variedad Criolla Colombia (*S. tuberosum* Grupo Phureja). Letras diferentes demuestran diferencias significativas, Tukey ($p < 0,05$)

La actividad antioxidante medida por FRAP de 5 genotipos de color morado oscuro en su cáscara oscilaron en muestras crudas desde $76,43 \pm 11,1$ a $125,96 \pm 11,3$ y en muestras cocidas de $121,62 \pm 7$ a $287,31 \pm 4,4$ mg ácido ascórbico/100 g BS., la tasa de recuperación de muestra cruda a cocida estuvo entre 1,59 a 2,28 veces. Se destacaron los genotipos: G1997 en muestra cruda $125,96 \pm 11,3$ y en muestra cocida $287,31 \pm 4,4$; G0077 en muestra cruda $116,44 \pm 6,1$ y en muestra cocida $238,51 \pm 14,2$ y G1989 en muestra cruda $109,40 \pm 7,2$ y en muestra cocida $196 \pm 13,7$ mg ácido ascórbico/100 g BS (Fig. 3). Menores valores de los reportados fueron obtenidos por Al-Weshahy y Rao (2009) para tubérculos sembrados en Ontario Canadá, con valores que estuvieron entre 0,43 a 1,07 mg/100g BS, posiblemente debido al tipo de genotipo y el método de extracción.

La actividad antioxidante medida por FRAP de 11 genotipos de cáscara y pulpa amarilla osciló en muestras crudas entre $78,37 \pm 10,5$ a $135,38 \pm 11,9$ y en cocidas de $138,6 \pm 18$ a $249,59 \pm 7,9$ mg ácido ascórbico/100 g BS, la tasa de recuperación de muestras crudas a cocidas fue de 1,63 a 2,35 veces. Resultados diferentes fueron observados en papas cultivadas en Reino Unido (Lemos *et al.*, 2015) por FRAP con 67 ± 5 mM/100 BH en muestras crudas y 79 ± 5 mM/100 BH en muestras cocidas de tubérculos color morado. Los resultados demuestran que la actividad antioxidante en papa se correlaciona con el contenido fenólico en los genotipos en estudio. Los genotipos con mejor poder reductor fueron en su orden: G2020, G2593, G1997, G2021, G0204, G0077 (Fig. 3).

La ingesta de papas comparada con otros vegetales es alta, (171.4 g/día en EE.UU), genera un aporte antioxidante considerable, ocupando el tercer lugar después de productos derivados de naranja y manzana, (Chun *et al.*, 2005).

Metabolitos antioxidantes

Los tubérculos de *S. tuberosum* Grupo Phureja son una fuente importante de compuestos con actividad antioxidante como carotenoides, polifenoles y ácido ascórbico (Burgos *et al.*, 2009). Los metabolitos antioxidantes (fenoles totales y Vitamina C), presentaron diferencias significativas entre genotipos, de igual manera para el tipo de muestra (crudo y cocido) y la interacción genotipo por tipo de muestra se relacionó en la Tabla 3.

La Figura 4 muestra los genotipos evaluados por el contenido de fenoles totales, cuantificando 263,59±11,19 en muestras crudas y 338,18±14,33 en muestras cocidas; el rango estuvo entre 161,6 ± 14,2 a 442,7 ± 37,5 para muestras crudas y en muestras cocidas de 245,2 ± 7,6 a 524,8 ± 8,4 mg ácido gálico/100 g BS. La tasa de retención luego del proceso de cocción fluctuó entre 1,11 a 1,72 veces. Estos resultados coinciden con lo reportado por Burgos *et al.* (2013), quienes evaluaron muestras cocidas, cultivadas en Junín, Perú.

En la Figura 4 se observa que los genotipos de color rojo en cáscara obtuvieron los mayores valores para el contenido de fenoles totales, la tasa de recuperación de crudo a cocido fue de 1,18 a 1,51 veces. El genotipo G2020 destacó tanto en muestras crudas 442,73 ± 37,5 como en cocidas 524,75 ± 8,4 mg GAE/100 g BS y presentó diferencias significativas ($p > 0,001$) respecto a los otros genotipos evaluados incluida Criolla Colombia. Le siguieron los genotipos de color rojo en su cáscara: G0204 en muestras crudas 376,66 ± 18,5 y en cocidas 453,29 ± 25,7; G2599 en muestras crudas 348,44 ± 13,3 y en cocidas 449,09 ± 18,1; G2593 en muestra cruda 324,82 ± 18,7 y en cocida 381,76 ± 10,2 mg GAE/100 g BS; Karim *et al.* (2017), reportaron en cinco variedades de papa de *Solanum tuberosum*, Grupo Chilotanum, el contenido de polifenoles totales en muestras de tubérculos sin cáscara entre 320,59 y 528,94 mg de 100 g de peso seco (DW) en tubérculos crudos y 282,03-543,96 mg de 100 g de DW en tubérculos cocidos.

La tasa de recuperación de fenoles totales en muestras crudas en genotipos de color rojo y morado oscuro con relación a los genotipos de color amarillo estuvo entre 1,65 a 2,74 veces más y en muestras cocidas fue 1,85 a 2,14 veces más; Navarre *et al.* (2010), reportaron compuestos fenólicos entre 1,8 a 11 mg / g BS; Burlingame *et al.* (2009), lograron cantidades hasta de 1570 µg/100 g BS posiblemente atribuidos a las modificaciones físicas y químicas del tubérculo durante el proceso de cocción que afecta el valor nutricional y funcional del mismo. Burgos *et al.* (2013), reportaron mayor cuantificación de fenoles totales en tubérculos cocidos que en crudos de 4 cultivares evaluados, la variedad Guincho obtuvo la mayor cuantificación de 596 a 4196 mg de ácido clorogénico Equivalentes/100 g BS en papas crudas y de 915 a 4525 mg Equivalentes de ácido clorogénico /100 g BS.

Menores valores de fenoles totales se presentaron en genotipos de cáscara y pulpa color amarillo (Fig. 4). La variación en los resultados de muestras crudas y cocidas de los genotipos en estudio, se debe posiblemente al comportamiento diferencial de la tasa de recuperación de estos compuestos, así lo confirman los estudios reportados por Faller y Fialho (2009) con brócoli y papa cultivados en Brasil bajo manejo tradicional demostrando la mayor tasa de recuperación de los polifenoles solubles e hidrolizables en muestras crudas a cocidas, la papa obtuvo la mayor tasa de recuperación. La variación del contenido de fenoles totales en los genotipos estudiados, permitirán seleccionar aquellos de interés por sus características funcionales e involucrarlos en programas de mejoramiento tendientes a obtener cultivares con altos compuesto fenólicos. Se ha reportado que una ingesta adecuada de fenoles produce efectos beneficios de la salud en humanos; especialmente en enfermedades crónicas, incluido el cáncer, las enfermedades cardiovasculares y trastornos neurodegenerativos (Vauzour *et al.*, 2010).

En la Figura 5, se presentan los contenidos de vitamina C en los 21 genotipos evaluados, el rango en muestras crudas osciló desde de 12,85 a 17,56 mg ácido ascórbico/100 g BS, con una media de 15,24; y de 4,69 hasta 10,02 mg ácido ascórbico/100 g BS, con una media de 7,09 mg ácido ascórbico/100 g BS, en tubérculos cocidos (Figura 5). La cocción disminuyó entre un 33,07 hasta un 68,8% el contenido de vitamina C. Sobresalieron genotipos de cáscara y pulpa amarilla por su valor de vitamina C, el rango osciló para muestras crudas de 12,85 ± 3,36 a 17,39 ± 1,98 y en muestras cocidas de 4,69 ± 0,57 a 10,02 ± 0,42 mg ácido ascórbico/100 g BS; el porcentaje de recuperación de cruda a cocida estuvo entre 31,20% al 66,93%; reportes de Navarre *et al.* (2010), mostraron que la vitamina C puede decrecer de 20% al 60% dependiendo del genotipo; Burgos *et al.* (2009) mostró que la variedad 704393 obtuvo alta concentración de ácido ascórbico en BS (105,1- 121,4 mg/100g) y en FW (33,6–34,0 mg/100 g). En los genotipos en estudio sobresalió G2585 en muestra cruda con 14,97 ± 3,32 y en muestra cocida 10,02 ± 0,42 mg ácido ascórbico/100 g BS. Estudios reportados por Burgos *et al.* (2009) en 6 variedades de papa obtuvieron una tasa de retención de vitamina C del 53% al 97% en papas cocidas.

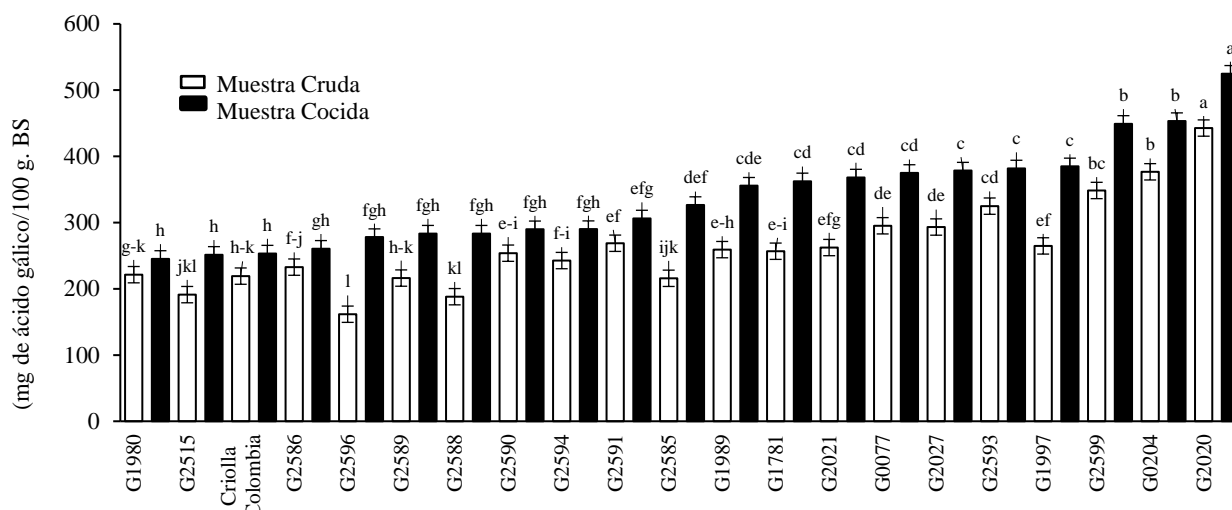


Fig. 4: Valores de fenoles totales dado en mg de ácido gálico/100 g BS., para 20 genotipos de papas nativas y la variedad Criolla Colombia (*S. tuberosum* Grupo Phureja). Letras diferentes demuestran diferencias significativas, Tukey ($p < 0,05$)

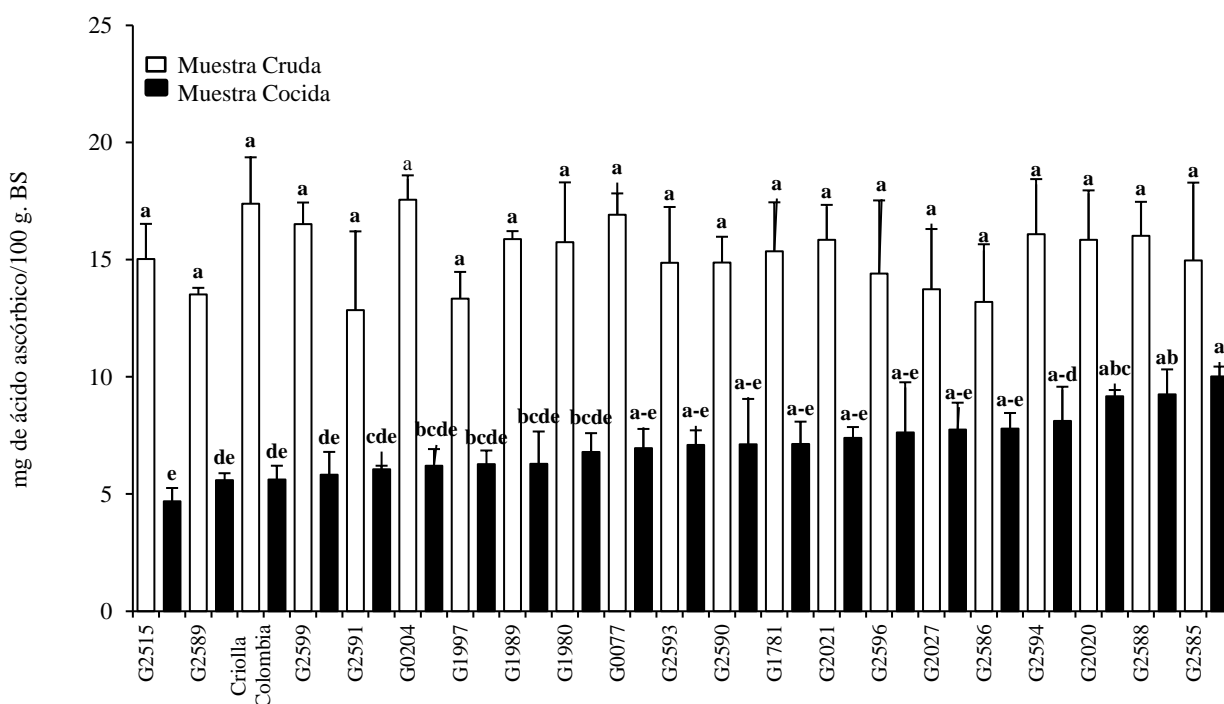


Fig. 5: Contenido de vitamina C dado por mg de ácido ascórbico/100 g BS., para 20 genotipos de papas nativas y la variedad Criolla Colombia (*S. tuberosum* Grupo Phureja). Letras diferentes demuestran diferencias significativas, Tukey ($p < 0,05$)

En el contenido de Vitamina C para 5 genotipos de color en cascara morado oscuro, se destacó el genotipo G2027 en muestra cruda $13,74 \pm 2,57$ y en muestra cocida $7,75 \pm 1,15$ mg ácido ascórbico/100 g BS; diferentes son los estudios reportados sobre la retención en cocido, uno de ellos de Hejtmánková *et al.* (2009) obtuvieron en variedades con carne púrpura 1,4 veces menos de ácido ascórbico que aquellas variedades de color amarillo, todas ellas cultivadas en Republica Checa. Reportes diferentes a los del estudio fueron dados por Navarre *et al.* (2010), en la variedad *Purple Majesty* bajo diferentes métodos de cocción, las concentraciones de vitamina C aumentaron de crudo a cocido de $0,44 \pm 0,061$ a $0,52 \pm 0,12$ mg/g BS.

El genotipo G2020 de color rojo en su cáscara obtuvo valores altos en fenoles totales y vitamina C. Reportes realizados por Navarre *et al.* (2010) sobre la papa de piel roja, proporciona aproximadamente el 36% de la cantidad recomendada en la dieta. El genotipo G2585 obtuvo el valor más alto en vitamina C para los genotipos de color amarillo en su cáscara y carne. Drewnowski y Rehm (2013) reportaron en 98 hortalizas evaluadas que la papa era la fuente menos costosa de vitamina C al calcular el costo para suministrar el 10% de la dieta recomendada. La Organización Mundial de la Salud recomienda una ingesta diaria de 45 a 90 mg/día de vitamina C, un consumo de 100 g de papas cocidas, aportaría entre el 7%-15% del valor diario recomendado. Burgos *et al.* (2009) encontraron en papas nativas del Grupo Phureja y Andígena que luego del proceso de cocción por ebullición el contenido de ácido ascórbico disminuyó significativamente.

CONCLUSIONES

De la presente investigación destaca que los genotipos evaluados no son muy diferentes de los cultivados en otras latitudes tanto en Latinoamérica como en Europa o Asia. También es de subrayar la presencia de contenidos superiores de proteínas, almidón azúcares y minerales que aportan en el balance de una buena dieta. Además de la presencia de compuestos antioxidantes como fenoles y ácido ascórbico.

Teniendo en cuenta que Colombia aun cuenta con zonas muy desfavorecidas económicamente donde el acceso a diferentes alimentos es bajo, la papa cubre muchas de las necesidades nutricionales básicas y energéticas, en este sentido se pretende promover la calidad nutricional de estos genotipos usándolos como parentales donantes en programas de mejoramiento genético de papa criolla o para ingresarlos al sistema productivo de la zona alto andina colombiana. En especial los genotipos G2020, (que destaca en la mayoría de los análisis), seguido de los clones G2021, G0204, G0077 y G2027.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia y a La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) por su financiación. De igual forma al Grupo de Especialistas de La Unidad de Estadística de Corpoica por su apoyo en los análisis estadísticos.

REFERENCIAS

- AGRONET. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. República de Colombia. Red de Información y comunicación del sector agropecuario Colombiano. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/Paginas/default.aspx> (2017)
- Akyol, H.; Y. Riciputi; E. Capanoglu; M.F. Caboni; y V. Verardo, Phenolic Compounds in the Potato and Its Byproducts: An Overview, doi:10.3390/ijms17060835, International Journal of Molecular Sciences, 17(6), 835 (2016)
- Al-Weshahy, A.; y V. Rao, Isolation and characterization of functional components from peel samples of six potatoes varieties growing in Ontario, Food Research International, 42(8), 1062-1066 (2009)
- AOAC: Association of Official Analytical Chemists, official methods of analysis, 18a Ed. (2005)
- Benzie, I.F.; y J.J. Strain, The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of Antioxidant Power: The FRAP assay, Analytical Biochemistry, 239(1), 70-76 (1996)
- Benzie, I.F. y Y.T. Szeto, Total Antioxidant Capacity of Teas by the Ferric Reducing/ Antioxidant Power Assay. J. Agric. Food Chem., 47, 633-636 (1999)
- Bianchi, V.E.; y G. Falcioni, Reactive oxygen species, health and longevity, doi: 10.3934/molsci.2016.4.479, AIMS Molecular Science, 3(4), 479-504 (2016).
- Bontempo, P., V. Carafa; R. Grassi; A. Basile; G. Tenore; C. Formisano; D. Rigano; y L. Altucci, Antioxidant, antimicrobial and anti-proliferative activities of *Solanum tuberosum* L. var. Vitelotte, Food and Chemical Toxicology, 55, 304-312(2013)
- Burgos, G.; W. Amoros; E. Salas; L. Muñoa; P. Sosa; E. Cayhualla; C. Sanchez; C. Díaz; y M. Bonierbale, Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling, Journal of Food Composition and Analysis, 30(1), 6-12 (2013)
- Burgos, G.; S. Auqui; W. Amoros; E. Salas; y M. Bonierbale, Ascorbic acid concentration of native Andean potato varieties as affected by environment, cooking and storage, Journal of Food Composition and Analysis, 22(6), 533-538 (2009)
- Burgos, G.; E. Salas; W. Amoros; M. Auqui; L. Muñoa; M. Kimura; y M. Bonierbale, Total and individual carotenoid profiles in *Solanum phureja* of cultivated potatoes: I. Concentrations and relationships as determined by spectrophotometry and HPLC, Journal of Food Composition and Analysis, 22(6), 503-508 (2009)
- Burlingame, B.; B. Mouillé ; y R. Charrondiére, Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes, Journal of Food Composition and Analysis, 22(6), 494-502 (2009)
- Calliope, M.O.L.; y N.M. Samman, Biodiversity of Andean potatoes: Morphological, nutritional and functional characterization, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.074>, Food Chemistry, (2017)

- Chun, O.K.; Kim, D.O.; Smith, N.; Schroeder, D.; Han, J.T. y C.Y. Lee, Daily consumption of phenolics and total antioxidant capacity from fruit and vegetables in the American diet. *J. Sci. Food Agric.*, 85, 1715-1724 (2005)
- Dale, M.F.B.; Griffiths, D.W.; y D.T. Todd, Effects of genotype, environment, and postharvest storage on the total ascorbate content of potato (*Solanum tuberosum*) tubers. *J. Agric. Food Chem.*, 51(1), 244-248 (2003)
- Drewnowski, A.; y C.D. Rehm, Vegetable cost metrics show that potatoes and beans provide most nutrients per penny, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0063277>, PLoS ONE. (en línea), 8, e63277 (2013)
- Faller, A.L.K.; y E. Fialho, The antioxidant capacity and polyphenol content of organic and conventional retail vegetables after domestic cooking, doi:10.1016/j.foodres.2008.10.009, *Food Research International*, 42(1), 210–215 (2009)
- Faller, A.L.K. y E.F.N.U. Fialho, Polyphenol content and antioxidant capacity in organic and conventional plant foods. *J. Food Compos. Anal.*, 23(6), 561-568 (2010)
- Hejtmánková, K.; V. Pivec; E. Trnková; K. Hamouz; y J. Lachman, Quality of coloured varieties of potatoes, *Czech Journal of Food Sciences*, 27, 310-313 (2009)
- Ježek, P.; Hlušek J.; Lošák T.; Jůzl M.; Elzner P.; Kráčmar S.; Buňka F. y A.M. Mårtensson, Effect of foliar application of selenium on the content of selected amino acids in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Plant soil environ.*, 57(7), 315–320 (2011)
- Karim, Zida.; Holmes, M.; y O. Caroline, Inhibitory effect of chlorogenic acid on digestion of potato starch, DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.08.058, *Food Chemistry*, 217,498-504 (2017)
- Lemos, M.A.; M.M. Aliyu; y G. Hungerford, Influence of cooking on the levels of bioactive compounds in purple majesty potato observed via chemical and spectroscopic means, <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.064>, *Food Chemistry*, 173, 462-467 (2015)
- Liu Z., Chemical methods to evaluate antioxidant ability. *Chem. Rev.*, 110(10), 5675–5691 (2010)
- Loyola, N.; Oyarce, E.; y C. Acuña, Evaluación del contenido de almidón en papas (*Solanum tuberosum* Cv. desirée), producidas en forma orgánica y convencional, en la provincia de Curicó, región del Maule. *Idesia (arica)*, 28(2), 41-52 (2010)
- Miller, G. L. Modified DNS method for reducing sugars, *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428 (1959)
- Molina, Y.; G. Rabe; M.L. Rodríguez; M.S. Cerón; y A.M. Garnica, Contenido de antioxidantes en papas criollas nativas (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja) en procesos de precocción y congelación, *Alimentos Hoy*, 23(36), 31-41 (2015)
- Navarre, D. A.; R.S. Payyavula.; R. Shakya.; N.R. Knowles.; y S.S. Pillai, Changes in potato phenyl propanoid metabolism during tuber development, <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.01.007>, *Plant Physiology Biochemistry*, 65, 89-101 (2013)
- Navarre, D. A.; R. Shakya; M. Holden; y S. Kumar, The effect of different cooking methods on phenolics and vitamin C in developmentally young potato tubers, DOI 10.1007/s12230-010-9141-8, *American Journal of Potato Research*, 87, 350-359 (2010).
- Ngobese, N.; T. Workneh; B. Alimi; y S. Tesfay, Nutrient composition and starch characteristics of eight European potato cultivars cultivated in South Africa, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.11.002>, *Journal of Food Composition and Analysis*, 55, 1-11 (2017)
- Peña, C., Restrepo-Sánchez, L. P., Kushalappa, A., Rodríguez-Molano, L. E., Mosquera, T., y Narváez-Cuenca, C. E, Nutritional contents of advanced breeding clones of *Solanum tuberosum* Group Phureja, DOI: 10.1016/j.lwt.2015.01.038, *LWT - Food Science and Technology*, 62, 76-82 (2015)
- Re, R., N. Pellegrini; A. Proteggente; Y. Pannala; M. Yang; y C. Rice-Evans, Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay, *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231-1237 (1999)
- Reddivari, L.; A.L. Hale; Jr. y J.C. Miller, Genotype, location, and year influence antioxidant activity, carotenoid content, phenolic content, and composition in specialty potatoes, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(20), 8073-8079 (2007)
- Rodríguez, D.; Núñez, C.E.; Cotes, J. M., y L.E. Rodríguez, Heredabilidad del contenido de proteína total en papa diploide *Solanum tuberosum* grupo Phureja. *Bragantia*, 70(4), 759-766 (2011)
- Shakya, R. y D.A. Navarre, Rapid screening of ascorbic acid, glycoalkaloids, and phenolics in potato using high-performance liquid chromatography, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 5253-5260 (2006)
- Vauzour, D.; Rodriguez-Mateos, A; Corona, G.; Oruna-Concha, M. J. y J. P. Spencer, Polyphenols and human health: prevention of disease and mechanisms of action. *Nutrients*, 2(11), 1106-1131 (2010)
- Zaheer, K. y M.H. Akhtar, Potato production, usage, nutrition-a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 56(5), 711-721 (2016)
- Zapata, K.; Cortes, F.B.; y B.A. Rojano, polifenoles y actividad antioxidante del fruto de Guayaba Agría (*Psidium araca*), *Información tecnológica*: 24(5), 103-112 (2013)