

## CAPITULO 10

### Análisis Físico y Nutricional de Tubérculos de Papa

#### Diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.)

Ana Magdalena Garnica Holguín<sup>1</sup>, Lena Prieto Contreras<sup>1</sup>,  
Claudia Patricia Álvarez Ochoa<sup>1</sup>, Juan Carlos Poveda Pisco<sup>1</sup>,  
María del Socorro Cerón Lasso<sup>2</sup>, Yaquelin Molina Cita<sup>2</sup>

#### Resumen

Con el fin de promover procesos gastronómicos y agroindustriales de las variedades registradas de papa diploide (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) de AGROSAVIA, como productos de investigación, se determinaron características físicas y nutricionales de los tubérculos a partir de métodos estandarizados. Las cinco variedades presentaron piel y carne amarilla, forma redonda, diversos tamaños, ángulos de reposo entre 25,77 - 35,34°, resistencia a la punción de 4,2070 - 9,9785 kgf, densidades reales entre 1.000,61 - 1.186,89 kg/m<sup>3</sup>, densidades aparentes entre 419,83 - 502,27 kg/m<sup>3</sup> y gravedades específicas (GE) desde 1,0707 hasta 1,900. Además, se encontraron rangos de contenidos de materia seca 17,66 - 27,22%, cenizas 0,62 - 1,66%, azúcares reductores 0,043 - 0,345%, almidón 23,23 - 11,95% y proteína 0,75 - 2,46% en BH. Y se establecieron ecuaciones de regresión lineal que correlacionaron la materia seca y el almidón con la GE. En relación a la capacidad antioxidante se evidenció el incremento de su valor medido por ABTS y FRAP y para fenoles en relación a los tubérculos frescos y cocidos. La vitamina C de los tubérculos disminuyó en la cocción del 40,91 al 67,68%. En el análisis de carotenoides, se encontró que todas estas variedades contienen  $\alpha$ -caroteno. Conocer estas características físicas y nutricionales, permite demostrar el potencial de las variedades registradas como alimento nutritivo y funcional.

**Palabras Clave:** colorimetría, propiedades mecánicas, valor nutritivo, carotenoides, antioxidantes.

<sup>1</sup> Universidad de La Salle, Bogotá – Colombia.

<sup>2</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera, Cundinamarca-Colombia.



### Abstract

In order to promote gastronomic and agroindustrial processes for registered varieties of diploid potato (*Solanum phureja* Juz. et. Buk.) from AGROSAVIA, as research products, physical and nutritional characteristics of tubers were determined using standardized methods. The five varieties presented yellow skin and pulp, round shape, various sizes, angles of repose between 25.77 - 35.34°, puncture resistance of 4.2070 - 9.9785 kgf, real densities between 1,000.61 - 1,186.89 kg/m<sup>3</sup>, apparent densities between 419.83 - 502.27 kg/m<sup>3</sup> and specific gravities (SG) from 1.0707 to 1.900. In addition, content ranges were found of dry matter 17.66 - 27.22%, ashes 0.62 - 1.66%, reducing sugars 0.043 - 0.345%, starch 23.23 - 11.95% and protein 0.75 - 2.46% in WB. And linear regression equations were established that correlated dry matter and starch with SG. In relation to antioxidant capacity was evidenced the increase of its value measured by ABTS and FRAP and for phenols in relation to fresh and cooked tubers. Vitamin C of tubers decreased in cooking from 40.91 to 67.68%. In carotenoid analysis, all these varieties were found to contain  $\alpha$ -carotene. Knowing these physical and nutritional characteristics allows demonstrating the potential of registered varieties as nutritional and functional food.

**Keywords:** colorimetry, mechanical properties, nutritional value, carotenoids, antioxidants.

---

### Introducción

Las papas nativas son tubérculos que han sido seleccionados, conservados y cosechados por agricultores e indígenas de la Región Andina desde hace miles de años, los cuales presentan formas y colores diversos. Estas variedades nativas representan la oportunidad de recuperar la biodiversidad y contribuir a la seguridad alimentaria global (Food and Agriculture Organization [FAO], 2003).



La papa diploide es una variedad nativa que contiene entre otros compuestos, almidón y carbohidratos, por lo cual es buena fuente de energía para el ser humano. Así mismo, posee metabolitos como fenoles (3 a 4 veces más en tubérculos nativos de carne roja o púrpura) y carotenoides (mayor contenido en tubérculos de carne amarilla) (Muñoz, 2014). Adicionalmente, los tubérculos nativos colombianos se caracterizan por su alta variabilidad genética con múltiples formas y colores (Moreno et al., 2009).

Según Abedi et al. (2019), para sistemas automáticos de separación de tubérculos es fundamental conocer e identificar las formas, los tamaños y los colores de las papas y así mismo, esta información es útil para las líneas de lavado de las variedades de papa comercial. Los consumidores también exigen determinados parámetros de calidad para los tubérculos, que se enfocan en su apariencia física como la profundidad de los ojos, el color de la piel, la forma, el tamaño y la textura; en general, se busca una apariencia sin defectos en el tubérculo (Stark et al., 2020). Sumado a esto, es necesario conocer su composición nutricional con el propósito de ampliar el uso de los tubérculos andinos (Espín et al., 2004).

Por tanto, en el marco de la investigación sobre generación de nuevas variedades de papa diploide, se propuso caracterizar física y nutricionalmente genotipos diploides cultivados en los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño en Colombia. Además, cabe resaltar que la papa diploide se puede aprovechar como alimento funcional potencial a partir de sus características físicas y nutricionales, determinadas por investigadores, tanto en productos derivados de una transformación agroindustrial como en preparaciones de consumo en los hogares (Cerón et al., 2018; Molina et al., 2015; Prieto et al., 2013; Waglay y Karboune, 2016).

### **Metodología**

La caracterización de tubérculos de cinco genotipos diploides y de la variedad comercial Criolla Colombia como testigo, se realizó en las plantas piloto y en el Laboratorio de Química de la Universidad de La Salle (Bogotá, Colombia).



Estos genotipos fueron suministrados de la Colección Central Colombiana de Papa del Banco de Germoplasma Vegetal del estado colombiano que administra AGROSAVIA.

Posteriormente, los genotipos fueron registrados como nuevas variedades ante el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) como variedades: Corpoica Sol Andina, Corpoica Tiba y Agrosavia Estrella de la Subregión del Altiplano Cundiboyacense del Departamento de Cundinamarca (ICA, 2017a, 2017b, 2018, 2020); Agrosavia Alhaja y Agrosavia Oyanza de la Subregión del Nudo de Los Pastos en el Departamento de Nariño (ICA, 2019a, 2019b).

Para los análisis por triplicado se tomó 1 kg de cada variedad provenientes de los Municipios de:

- Granada (4°32'45,24"N 74°19'46,34"O), El Rosal (4°51'07"N 74°15'46"O), Subachoque (4°55'41"N 74°10'25"O) y Sibaté (4°28'52,56"N 74°15'11,37"O) del Departamento de Cundinamarca.
- Córdoba (0°51'18"N 77°31'16"O), Ipiales (0°49'49"N 77°38'40"O), Puerres (0°52'54"N 77°30'29"O) y Pasto en el Centro de Investigación (C.I.) Obonuco de AGROSAVIA (1°12'28"N 77°16'38"O) del Departamento de Nariño.

### **Características Físicas de los Tubérculos**

El color, la forma, el tamaño, el ángulo de reposo, la textura y la densidad, se determinaron a los tubérculos de las variedades de AGROSAVIA.

**Color del Tubérculo.** Para cuantificar el color de la piel y de la carne del tubérculo, se utilizó la técnica de colorimetría bajo el modelo cromático de las coordenadas CIE L\*a\*b\* (CIELAB) que representan las características presentadas en la Tabla 10.1. Estas coordenadas se determinaron con un colorímetro Kónica Minolta® referencia CR-410C con iluminante D65 (luz de día) y observador patrón 10°. Luego de registrar los valores de las coordenadas del color de las variedades evaluadas, estos resultados se representaron en gráficos del espacio CIE L\*a\*b\* tridimensional.



**Tabla 10.1**

Parámetros y representación gráfica del modelo CIE L\*a\*b\*

Coordenadas	Característica	Interpretación	Representación Gráfica
L*	Luminosidad de color	L*=0 negro y L*=100 blanca	
a*	Posición entre rojo y verde	Valores negativos indican color verde mientras valores positivos indican color rojo.	
b*	Posición entre amarillo y azul	Valores negativos indican color azul y valores positivos indican color amarillo.	

Nota. Goñi y Salvadori (2015); Piñeiro-Di-Blasi et al. (2014)

**Forma General del Tubérculo.** A partir de los descriptores morfológicos propuestos por Huamán (2008) para formas comunes y raras en tubérculos de papa, se caracterizaron las muestras de papa diploide.

**Tamaño del Tubérculo.** El diámetro del tubérculo se midió con un calibrador. Después, se clasificaron los tubérculos en las categorías establecidas por el ICA (2015), como: muy grande (> 5 cm), grande (4,0 - 4,9 cm), mediana (3,0 - 3,9 cm) y pequeña (2,0 - 2,9 cm).

**Ángulo de Reposo.** Se determinó según el procedimiento de Buitrago et al. (2004), que consistió en llenar una caja de madera de medidas regulares de 0,30 m con tubérculos de un mismo tamaño. Posteriormente se abrió una cara lateral y se dejaron rodar libremente los tubérculos para que se acomodaran según su ángulo de reposo ( $\alpha$ ); el cual se midió desde los ejes X y Y sobre una de las caras interiores de la caja. Luego se reemplazaron estos valores en la siguiente ecuación:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$$

**Textura de Tubérculos.** Se aplicó el método destructivo de punción con los parámetros establecidos por la American Society of Agricultural and Biological Engineers [ASAE] (2000) para el corte de la papa. La punción al tubérculo sin quitar la piel se realizó en un texturómetro o máquina de esfuerzos (Figura 10.1)



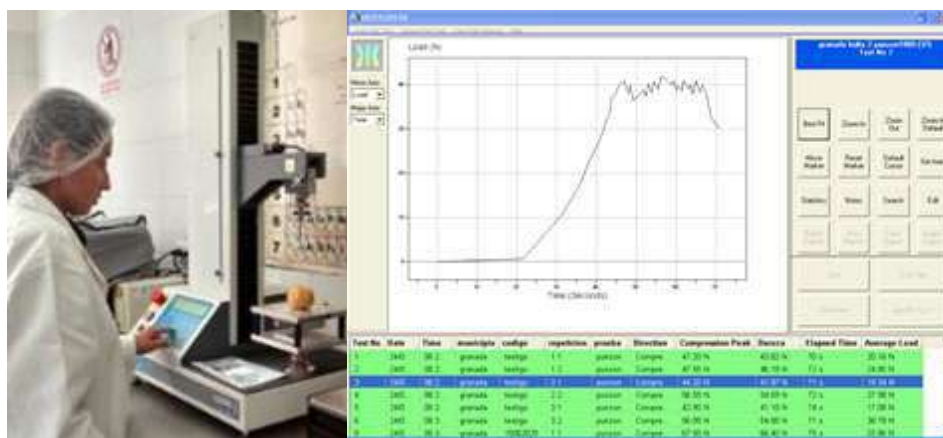
con un aditamento o mordaza de cono de polímero liso con un ángulo de 45° y una velocidad de ensayo de 20 mm/min (Buitrago et al., 2004). Los valores de fuerza fueron registrados en el software Nexygen® para su posterior análisis.

**Densidad.** La relación que presenta la masa de los tubérculos con respecto a su volumen se cuantificó mediante valores de: densidad real (densidad por unidad o tubérculo), densidad aparente (densidad global) y gravedad específica.

**Densidad Real.** Esta característica se determinó pesando primero un tubérculo en el aire para conocer su masa y luego se halló su volumen por medio de la medición del desplazamiento del agua en una probeta. El cociente del peso (kg) entre el volumen desplazado (m<sup>3</sup>) fue el valor de la densidad real (Buitrago et al., 2004), la cual corresponde a la correlación entre la masa y el volumen de partículas individuales.

**Figura 10.1**

*Máquina de esfuerzos o texturómetro y curva de prueba de punción*



Nota. Fotografía tomada por Ana Magdalena Garnica Holguin. La curva corresponde a la prueba realizada sobre el testigo Criolla Colombia procedente del Municipio de Granada.

**Densidad Aparente.** Para su medición se utilizó una caja de cartón de 0,34 x 0,2 x 0,2 m, que se le introdujo al azar tubérculos del mismo tamaño pesados previamente en el aire. Luego se calculó la densidad aparente como el



cociente entre el peso del sólido en el aire (kg) y el volumen (m<sup>3</sup>) de la caja que contiene los sólidos (Buitrago et al., 2004).

**Gravedad Específica.** El método de medición de esta característica física se basa en el principio de Arquímedes tanto para la industria como para los investigadores. Por tanto, se utilizó la relación de los pesos de los tubérculos en el aire y en el agua medidos con una balanza analítica Ohaus® de capacidad de 2 kg y se halló el valor numérico de la gravedad específica (GE) mediante la siguiente ecuación matemática:

$$GE = \text{peso en aire} / (\text{peso en aire} - \text{peso en agua})$$

El valor de la GE es el mismo valor numérico de la densidad relativa, el cual se puede cuantificar a partir de la densidad de la papa diploide, relacionada con la densidad del agua a 10 °C (50 °F) como densidad de referencia. Para el valor real de la GE se recomienda aplicar los factores de corrección de temperatura dados por Gould (1999).

### Caracterización Nutricional de los Tubérculos

Fueron determinadas sobre muestras de papa diploide crudas o frescas con cáscara o piel y homogenizadas, mediante los métodos estandarizados de la Tabla 10.2.

**Tabla 10.2**

*Métodos para el análisis nutricional de papa diploide*

Análisis	Método
Materia seca	AOAC INTERNACIONAL® 925.10/05 (AOAC, 2005a)
Humedad	Por diferencia de peso con materia seca
Almidón	Método Indirecto para la determinación de almidones a través de azúcares reductores en Vegetales (Álvarez Ochoa et al. 2018).
Azúcares reductores	Miller (1959)
Cenizas	AOAC INTERNACIONAL® 940.26/05 (AOAC, 2005b).
Proteínas	AOAC INTERNACIONAL® 935.11/05 (AOAC, 2005c).
Capacidad Antioxidante*	ABTS: Re et al. (1999) FRAP: Benzie y Strain (1996)
Vitamina C*	Shakya y Navarre (2006)
Fenoles Totales*	Zapata et al. (2013)
Carotenoides	Biswas et al. (2011)

Nota. \* Las muestras se evaluaron en fresco y en cocido (90 °C por 9 min) y conservadas a -70,8 °C hasta su liofilización para su posterior análisis.



## Productos Logrados

La caracterización física y nutricional de los tubérculos de las variedades registradas ante el ICA y procedentes de los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño (Colombia), se presenta a continuación.

### Características Físicas de los Tubérculos

En el Banco de Germoplasma Vegetal del estado colombiano que administra AGROSAVIA se encontraron genotipos de papa diploide de coloraciones rojizas, moradas violeta, y amarillas en su piel. Además, presentaron color de carne amarillo, morado y rojizo con pigmentaciones rojizas o moradas en áreas o con manchas dispersas en el anillo vascular y médula. Esto lo corrobora Gómez (2000), quien menciona que este tipo de tubérculos presentan diversos colores principales y secundarios en piel o cáscara.

En relación a las variedades registradas y a la variedad comercial Criolla Colombia (testigo) se determinaron las siguientes características.

**Color del Tubérculo.** El color en los alimentos es uno de los índices de calidad que determinan la aceptabilidad y las preferencias del consumidor (Moreno, 2017). Para las variedades registradas y la variedad testigo, el color de la piel (cáscara) y de la carne (pulpa) fue amarillo.

**Color de la Piel.** En la Tabla 10.3 se evidencia que, en los genotipos registrados del Departamento de Cundinamarca, el color de la cáscara o piel fue amarillo (coordenada  $b^*$ ), presentando algunas variaciones según el municipio donde fueron cosechados. Corpoica Sol andina se caracterizó por su color amarillo más intenso en los Municipios de Sibaté y de El Rosal ( $b^* = 34,84$  y  $b^* = 35,60$  respectivamente). Así mismo, la variedad comercial Criolla Colombia presentó colores predominantes de piel amarillo intenso ( $b^* < 35,01$ ) con una leve tendencia al rojo ( $a^* < 8,57$ ).

Los colores de los genotipos del Departamento de Nariño, se observan en la Tabla 10.4 con un valor máximo de color amarillo en la cáscara para Agrosavia Oyanza con  $b^* = 34,27$  y para la variedad Criolla Colombia ( $b^* = 34,89$ ) del Municipio de Pasto (Centro de Investigación Obonuco de AGROSAVIA). Es



importante señalar que las variaciones de color en los municipios se dan por las interacciones genotipo-ambiente y por otros factores no controlados en la investigación como los asociados a la producción primaria y fenómenos químicos y físicos (Gallón Bedoya et al., 2019).

**Color de la Carne.** Las variedades registradas del Departamento de Cundinamarca (Tabla 10.3), presentaron color de carne amarillo y sobresalió Agrosavia Estrella con  $b^*= 46,95$  del municipio de Subachoque y algunas variedades presentaron coloraciones con tendencia al verde ( $a^* > -1.71$ ). En cuanto a las variedades del Departamento de Nariño (Tabla 10.4), Agrosavia Alhaja se destacó por su color amarillo en carne de  $b^*=48,01$  del Municipio de Ipiales, aventajado por el testigo Criolla Colombia con un amarillo equivalente a  $b^*=49,34$  y que se caracterizó por su tendencia al verde  $a^*= -3.27$ . La variación de la cromaticidad  $a^*$ , ocurre por los cambios sufridos en los compuestos coloreados, como las antocianinas. Estos compuestos rojizos se transforman en otros tipos de compuestos, por hidroxilación, metilación y glicosilación; que generan cambios de color, por efectos de pH, temperatura y luz (Reyes y Cisneros, 2007).

**Forma General del Tubérculo.** Cabe resaltar que la mayoría de los tubérculos de papa diploide del Banco de Germoplasma Vegetal del estado colombiano que administra AGROSAVIA, presentan formas esféricas, comprimidas, elípticas y ovoides; y tan solo el 5% de los genotipos muestran formas raras. La forma de la papa determina su potencial uso para la estandarización de los procesos de transformación industrial (Moreno, 2000). Actualmente el mercado de papa diploide en Colombia exige formas uniformes (redonda y con ojos superficiales) para el procesamiento, con el fin de dar respuesta a las exigencias de los consumidores, que determinan las variedades cultivadas por los agricultores y que son vendidas por los comercializadores.



**Tabla 10.3**

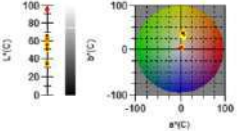
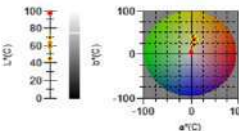
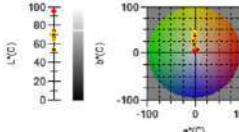
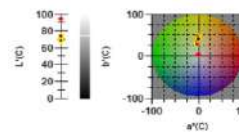
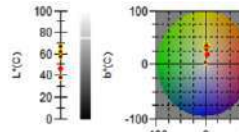
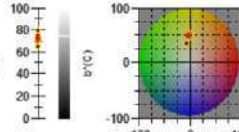
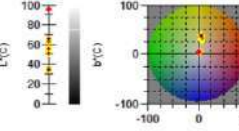
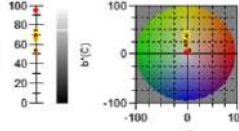
Colorimetría de los tubérculos de papa diploide registrados y de la variedad testigo (Criolla Colombia) en el Departamento de Cundinamarca

Departamento de Cundinamarca							
Municipio	Variedad	Piel			Carne		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
Granada	Corpoica Sol Andina	50,26	7,45	23,52	70,55	0,62	42,58
	Corpoica Tiba	61,49	7,02	30,35	60,80	1,22	32,38
	Agrosavia Estrella	59,77	7,98	30,78	74,46	0,85	45,50
	Criolla Colombia	59,59	4,31	32,60	66,48	0,77	37,29
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
El Rosal	Corpoica Sol Andina	62,68	4,60	35,60	70,39	0,82	41,60
	Corpoica Tiba	62,44	4,40	34,18	67,01	0,60	37,70
	Agrosavia Estrella	61,47	5,26	35,34	68,06	0,34	41,27
	Criolla Colombia	65,70	4,88	35,01	69,61	-0,26	37,31
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
Sibaté	Corpoica Sol Andina	59,45	5,28	34,84	70,60	-0,08	44,43
	Corpoica Tiba	63,43	5,86	34,06	70,72	-0,49	46,17
	Agrosavia Estrella	62,48	6,23	33,57	71,25	0,12	42,64
	Criolla Colombia	63,15	8,57	29,08	72,17	0,53	44,12
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
Subachoque	Corpoica Sol Andina	57,75	1,17	30,84	66,02	-1,71	41,53
	Corpoica Tiba	50,57	6,74	24,28	71,43	-0,10	45,14
	Agrosavia Estrella	52,82	5,70	27,71	69,73	1,61	46,95
	Criolla Colombia	58,99	6,16	33,22	68,69	0,73	44,48
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						



**Tabla 10.4**

Colorimetría de los tubérculos de papa diploide registrados y de la variedad testigo (Criolla Colombia) en el Departamento de Nariño

Departamento de Nariño							
Municipio	Variedad	Piel			Carne		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
Córdoba	Agrosavia Alhaja	53,71	7,55	32,70	70,08	-0,30	34,48
	Agrosavia Oyanza	57,57	6,51	33,41	67,91	0,63	36,22
	Criolla Colombia	54,97	7,46	30,25	70,06	0,37	39,07
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
Ipiales	Agrosavia Alhaja	55,44	5,39	27,89	71,70	-0,27	48,01
	Agrosavia Oyanza	60,02	1,15	33,05	72,90	-1,88	44,22
	Criolla Colombia	62,56	6,59	24,48	74,82	0,08	42,29
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
Pasto	Agrosavia Alhaja	56,72	3,58	25,85	67,76	1,32	46,17
	Agrosavia Oyanza	62,74	3,62	34,27	72,14	-1,45	47,78
	Criolla Colombia	60,27	5,54	34,89	71,26	-3,27	49,34
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						
Puerres	Agrosavia Alhaja	53,71	7,55	32,70	69,08	0,76	38,54
	Agrosavia Oyanza	57,57	6,51	33,41	70,08	-0,30	34,48
	Criolla Colombia	54,97	7,46	30,25	70,06	0,37	39,07
	Representación gráfica del modelo CIE L*a*b* (CIELAB)						

En la Figura 10.2 se observa la forma redonda que presenta las variedades registradas. Mientras que, tubérculos con formas raras dificultan su manejo para usos industriales y esta forma incide directamente en el rendimiento durante el pelado y el volumen ocupado en el almacenamiento. Sin embargo, los genotipos no homogéneos por su forma, pueden ser aprovechados en diferentes preparaciones culinarias y convertirse en una fuente potencial de alimentación para la población.



**Figura 10.2**

Variedades de papa diploide registradas en Colombia frente a la variedad testigo



**Tamaño del Tubérculo.** Otra característica física importante que determina el aprovechamiento de la papa diploide para preparación culinaria o procesamiento industrial, corresponde a su diámetro. Como se puede observar en la Tabla 10.5, los diámetros de los genotipos evaluados alcanzaron valores hasta 7,2 cm con categoría de tamaño de tubérculos muy grandes (ICA, 2015). También se evidenció la diversidad de tamaños de tubérculos desde muy pequeños a muy grandes para aprovecharlos en diversas aplicaciones culinarias e industriales y así, evitar su desperdicio. Esta característica física es importante para los productores durante la clasificación de la papa-semilla (Bello y Pinzón, 1997; Memorias, 2011; Torres et al., 2011).

Así mismo en la Tabla 10.5 se observa que la variedad Agrosavia Oyanza fue la que mayor diámetro registró en algunos de sus tubérculos en relación a las otras variedades. También se encontró que todas las variedades tienen tubérculos muy pequeños que no hacen parte de la clasificación recomendada por ICA (2015) que omite los tubérculos menores a 2 cm y los cuales, son considerados por los productores como papa riche, tubérculos que pierden su valor comercial por su tamaño. Esto genera pérdidas y desperdicios de este alimento, puesto que



en algunos casos se dejan en el terreno de la cosecha sin recuperarlos o se utilizan para alimentación animal. Razón por la cual, se sugiere el uso de los tubérculos de diámetro inferior a 2 cm para la producción de harina y de otros productos.

**Tabla 10.5**

*Tamaño de tubérculos de las variedades de papa diploide frente al testigo Criolla Colombia*

	Variedades						Tamaño*
	Corpoica Sol Andina	Corpoica Tiba	Agrosavia Estrella	Agrosavia Alhaja	Agrosavia Oyanza	Criolla Colombia	
Rango de diámetros (cm)	5,1 - 5,6	5,1 - 5,3	5,2 - 5,4	5,0 - 6,0	5,13 - 7,2	5,16 - 7,2	Muy grande
	4,1 - 4,9	4,05 - 4,88	4,2 - 4,9	4,1 - 4,9	4,1 - 4,9	4,1 - 4,9	Grande
	3,0 - 3,98	3,7 - 3,9	3,16 - 3,98	3,16 - 3,8	3,05 - 3,9	3,2 - 3,9	Mediana
	2,0 - 2,9	2,4 - 2,9	2,1 - 2,5	2,0 - 2,9	2,0 - 2,9	2,1 - 2,8	Pequeña
	1,7 - 1,9	1,1 - 1,9	1,6 - 1,8	1,8	1,8 - 1,9	1,1 - 1,8	Sin clasificación ICA**

Nota. \* Tamaños sugeridos por ICA (2015). \*\* Tubérculos muy pequeños e inferiores a 2 cm de diámetro, denominados por los agricultores de la Región Cundiboyasence de Colombia como tamaño riche.

**Ángulo de Reposo.** Staley (1981) presenta tres clases de fluidez para los tubérculos: clase 1, muy fluida con ángulo de reposo  $\leq 30^\circ$ ; clase 2, fluye libre con ángulo de reposo entre  $30^\circ$  y  $45^\circ$ ; y clase 3, fluye lento o suave con ángulo de reposo  $\geq 45^\circ$ . Por consiguiente, la mayoría de los tubérculos evaluados mostraron ángulos de reposo de clase 1 y la variedad Agrosavia Alhaja con ángulo de reposo de clase 2 (Tabla 10.6), el cual se encuentra dentro del promedio reportado por Booth y Shaw (1989) de un ángulo de reposo de  $35^\circ$  para tubérculos sin brotes.

Esta característica que demuestra la fluidez de las variedades registradas, favorece la manipulación de los tubérculos en las actividades de su acondicionamiento a nivel industrial, que comprende: recepción de papa por tolvas, separación de impurezas, lavado por inmersión, limpieza con cepillos, secado, transporte por bandas, clasificación de tubérculos por tamaños, control



de calidad y empaçado (Lancheros et al., 2013). Los ángulos de reposo obtenidos para las variedades diploides, demuestran que los tubérculos pueden desplazarse libremente en la trayectoria de lavado y de transporte durante el acondicionamiento. Adicionalmente, esta característica física se considera útil para calcular la magnitud de la presión horizontal ejercida a una pared por el apilamiento en almacenes de papa a granel mientras que, para la papa almacenada en sacos, bolsas o cajas, la presión total recae sobre el piso (Buitrago et al., 2004; Booth y Shaw, 1989).

**Tabla 10.6**

*Ángulos de reposo para las variedades registradas de papa diploide frente a la muestra testigo*

Variedades	Ángulo de reposo ( $\alpha$ )
Agrosavia Alhaja	35,34
Agrosavia Oyanza	25,77
Corpoica Sol andina	31,85
Corpoica Tiba	27,35
Agrosavia Estrella	27,62
Criolla Colombia (testigo)	28,07

**Textura de Tubérculos.** La textura es un reflejo de la estructura del alimento que se relaciona con sus características mecánicas, que se miden en términos de resistencia o de fuerza, la cual se opone al material biológico al ser perforado o comprimido hasta cierta profundidad y deformación (Buitrago et al., 2004; Rosenthal, 2001). Para los genotipos del Municipio de Sibaté (Departamento de Cundinamarca) y del Municipio de Puerres (Departamento de Nariño), mostraron mayores valores de resistencia al corte (Tabla 10.7) y, por lo tanto, estos tubérculos se caracterizaron por su mayor dureza y cantidad de fuerza al pinchar su piel, demostrando una mayor turgencia o rigidez que otros genotipos de los demás municipios. Este aspecto es importante en los alimentos ya que la disminución de la turgencia es un signo avanzado de deshidratación



(Martínez et al., 2003). Adicionalmente, en la textura del tubérculo cosechado, inciden las características del suelo, como las texturas francas, buen drenaje y pH entre 5,2 y 5,9 (Mosquera, 2003).

**Tabla 10.7**

*Textura de los tubérculos de las variedades registradas y de la variedad testigo (Criolla Colombia) medida en ensayos de punción*

Departamento	Variedades	Municipios			
		Granada kgf	El Rosal kgf	Sibaté kgf	Subachoque kgf
Cundinamarca	Corpoica Sol Andina	5,3777	6,3069	9,3782	7,9840
	Corpoica Tiba	6,2299	6,2897	8,3374	5,0913
	Agrosavia Estrella	5,8016	5,7581	9,9785	9,1346
	Criolla Colombia	6,3409	5,7825	9,8262	6,2916
Nariño	Variedades	Córdoba	Ipiales	Pasto	Puerres
		kgf	kgf	kgf	kgf
	Agrosavia Alhaja	4,2070	4,6963	8,8191	7,9481
	Agrosavia Oyanza	4,6470	4,5369	5,9435	7,9040
	Criolla Colombia	5,9890	7,1302	7,0332	9,5344

Nota. Ensayo de punción o de perforación consiste en la prueba de perfil de textura que mide la fuerza necesaria para empujar la sonda en los tubérculos en fresco.

**Densidad.** La información sobre la densidad de los alimentos es esencial en los procesos de separación, como la centrifugación y la sedimentación, y en el transporte neumático e hidráulico de materiales (Chakespari et al., 2010). Para las variedades se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación.

**Densidad Real.** En la Tabla 10.8 se evidencia que las variedades presentaron densidades reales entre 1.000,61 y 1.186,89 kg/m<sup>3</sup> para los dos Municipios analizados de Sibaté y de Granada, cuyos valores fueron cercanos a lo reportado por Buitrago et al. (2004) para la variedad Criolla Colombia, y por Patel et al. (2018) para tubérculos de la variedad Kufri Badshah. La variedad testigo Criolla Colombia fue la que menor densidad real presentó en los dos municipios. El resultado de la densidad real (> 1.000 kg/m<sup>3</sup>) indica que el tubérculo es más pesado que el agua, por lo que se hundirá en ella. Esto es útil en el diseño de máquinas de limpieza y separación (Golmohammadi y Afkari-Sayyah, 2013).



**Densidad Aparente.** Esta densidad es empleada para el diseño de contenedores de sólidos puesto que considera a la vez los espacios vacíos y el material sólido y, su valor es inferior a la densidad por unidad, debido al gran número de espacios huecos que quedan entre las partículas. Para las variedades se encontraron densidades aparentes entre 419,83 y 502,27 kg/m<sup>3</sup> (Tabla 10.8), valores cercanos a los reportados por Buitrago et al. (2004).

**Tabla 10.8**

*Densidades reales y aparentes de las variedades registradas y de la variedad testigo (Criolla Colombia)*

Variedad	Densidad Real		Densidad aparente	
	Sibaté (kg/m <sup>3</sup> )	Granada (kg/m <sup>3</sup> )	Sibaté (kg/m <sup>3</sup> )	Granada (kg/m <sup>3</sup> )
Corpoica Sol Andina	1029,29	1070,22	502,27	464,70
Corpoica Tiba	1180,89	1036,36	421,87	364,33
Agrosavia Estrella	1179,60	1010,40	428,99	461,09
Agrosavia Alhaja	1186,89	1081,00	482,60	443,38
Agrosavia Oyanza	1119,94	1000,61	484,24	439,31
Criolla Colombia	1011,33	977,11	456,35	419,83

**Gravedad Específica.** Gould (1999) menciona que diferentes investigadores han verificado varios factores que influyen sobre el valor de la GE en las papas, como: el clima, la intensidad de la luz solar, la temperatura del aire, los vientos y su humedad, la sequía, la temperatura del suelo, la variedad genética del cultivar, la calidad de la semilla, la densidad de las plantas, las prácticas de fertilización en el suelo, el tipo de suelo y sus características, las plagas y enfermedades, la madurez del tubérculo, entre otros. En la Tabla 10.9 se observa que diversos genotipos diploides en formas y colores, cultivados en condiciones cercanas de temperatura y de altitud en varios municipios de los dos departamentos en Colombia, y los tubérculos presentaron diversos valores de GE dependiendo de las condiciones del suelo y de las culturas agronómicas aplicadas. En cuanto a los valores más altos de GE en los rangos de los Municipios de Granada, de Sibaté y de Córdoba, fueron valores ideales para el



procesamiento de hojuelas o chips (Palacios et al., 2008). En la Tabla 10.10 se observan las GE de las variedades registradas y la variedad Corpoica Sol Andina sobresalió por su alto valor de GE.

**Tabla 10.9**

*Rangos de gravedad específica de genotipos diploides cultivados en diferentes temperaturas y altitudes*

Departamento de Cundinamarca			
Municipios	Temperatura (°C)	Altitud (msnm)	Rangos de GE*
Sibaté	13	2700	1,0645 - 1,1286
Granada	13	2695	1,0611 - 1,1426
Subachoque	15	2663	1,0270 - 1,1220
El Rosal	14	2685	1,0080 - 1,1251
Departamento de Nariño			
Municipios	Temperatura (°C)	Altitud (msnm)	Rangos de GE*
Ipiales	10	2898	1,0558 - 1,0856
Córdoba	12	2800	1,0680 - 1,0993
Pasto	12	2790	1,0620 - 1,0862
Puerres	12	2882	1,0739 - 1,1057

Nota: \*Rango para todos los genotipos evaluados

Agle y Woodbury (1968) y Schippers (1976), sostienen que la GE es afectada por la zona de producción y las condiciones de almacenamiento, por lo que se recomienda determinar la GE una vez la papa es cosechada o al día siguiente, porque los tubérculos pierden agua y sus almidones se transforman en azúcares. Así pues, los contenidos de almidón y de materia seca se pueden determinar indirectamente a través de relaciones matemáticas establecidas para cada variedad de papa (Gould, 1999) y en el caso de la papa diploide esta correlación se estableció en el apartado que sigue.



**Tabla 10.10**

Gravedad específica (GE) de variedades registradas y la variedad testigo

Variedades Registradas	GE
Corpoica Sol Andina	1,0900
Corpoica Tiba	1,0850
Agrosavia Estrella	1,0880
Agrosavia Alhaja	1,0731
Agrosavia Oyanza	1,0707
Criolla Colombia (testigo)	1,0881

Nota. Valores de las variedades registradas (ICA, 2017a, 2017b, 2019a, 2019b, 2020) y el valor de la variedad testigo como resultado de la investigación.

### **Caracterización Nutricional de los Tubérculos**

El valor nutritivo de los alimentos se establece con el fin de proponer diferentes usos culinarios y aplicaciones industriales (Espín et al., 2004). Estas estimaciones nutricionales permiten definir el potencial uso para consumo de las variedades registradas de papa diploide.

**Materia Seca y Humedad.** La materia seca en la papa criolla está influenciada por prácticas de cultivo tales como tipo de suelo, humedad y composición mineral, programas de riego y temperatura durante el crecimiento de la planta (Huertas y Ligarreto, 2001). Para los genotipos evaluados en municipios del Departamento de Cundinamarca, mostraron mayores porcentajes de materia seca los del Municipio de El Rosal y menores valores los del Municipio de Granada. Mientras que, en el Departamento de Nariño, los genotipos cultivados en el Municipio de Puerres presentaron mayor contenido de materia seca y los del Municipio de Pasto (Centro de Investigación Obonuco de AGROSAVIA) arrojaron menor valor respecto a las otras localidades (Tabla 10.11). Por consiguiente, tuvieron un mayor contenido de humedad los tubérculos cosechados en el Municipio de Granada y de Pasto (Tabla 10.11), lo cual dependió de las condiciones medioambientales como la pluviosidad y la humedad del suelo de los municipios (Herrera y Rodríguez, 2011).



**Tabla 10.11**

Características nutricionales en base húmeda de las variedades registradas de papa diploide y de la variedad testigo Criolla Colombia

DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA							
Municipios	Variedades	Materia seca (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)	Azúcar reductor (%)	Almidón (%)	Proteína (%)
Granada	Corpoica Sol Andina	22,43 ± 2,88	77,57 ± 2,88	1,18 ± 0,25	0,170 ± 0,106	16,56 ± 1,07	1,43 ± 0,57
	Corpoica Tiba	22,19 ± 1,03	77,81 ± 1,03	1,10 ± 0,12	0,160 ± 0,042	17,18 ± 0,83	1,37 ± 0,20
	Agrosavia Estrella	21,65 ± 1,76	78,35 ± 1,76	1,19 ± 0,24	0,120 ± 0,037	17,04 ± 2,41	1,38 ± 0,11
	Criolla Colombia	23,28 ± 2,28	76,72 ± 2,28	1,18 ± 0,13	0,103 ± 0,030	17,21 ± 3,58	1,51 ± 0,18
El Rosal	Corpoica Sol Andina	27,15 ± 0,28	72,85 ± 0,28	0,67 ± 0,07	0,240 ± 0,002	23,23 ± 0,16	2,46 ± 0,16
	Corpoica Tiba	27,22 ± 1,31	72,78 ± 1,31	0,62 ± 0,03	0,191 ± 0,015	22,36 ± 0,05	1,47 ± 0,01
	Agrosavia Estrella	24,26 ± 0,55	75,74 ± 0,55	0,66 ± 0,05	0,100 ± 0,002	19,84 ± 0,28	1,48 ± 0,65
	Criolla Colombia	26,46 ± 1,73	73,54 ± 1,73	0,74 ± 0,08	0,239 ± 0,024	19,62 ± 0,49	2,41 ± 0,20
Sibaté	Corpoica Sol Andina	24,33 ± 1,25	75,66 ± 1,24	1,29 ± 0,02	0,120 ± 0,006	20,55 ± 1,74	1,25 ± 0,49
	Corpoica Tiba	25,70 ± 1,72	74,30 ± 1,72	1,34 ± 0,05	0,080 ± 0,013	18,51 ± 1,94	1,80 ± 0,39
	Agrosavia Estrella	24,07 ± 3,51	75,93 ± 3,51	1,23 ± 0,02	0,140 ± 0,011	17,31 ± 0,24	1,98 ± 0,23
	Criolla Colombia	27,51 ± 2,17	72,49 ± 2,17	1,23 ± 0,05	0,110 ± 0,020	22,46 ± 2,50	1,56 ± 0,24
Subachoque	Corpoica Sol Andina	21,62 ± 2,17	78,37 ± 2,17	1,11 ± 0,07	0,290 ± 0,050	17,41 ± 1,55	1,48 ± 0,32
	Corpoica Tiba	23,91 ± 1,87	76,09 ± 1,87	1,10 ± 0,21	0,300 ± 0,104	18,26 ± 0,85	1,46 ± 0,26
	Agrosavia Estrella	24,21 ± 3,10	75,79 ± 3,10	1,12 ± 0,19	0,270 ± 0,053	19,48 ± 1,88	1,28 ± 0,15
	Criolla Colombia	23,94 ± 1,65	76,06 ± 1,65	1,14 ± 0,26	0,260 ± 0,100	18,11 ± 2,51	1,48 ± 0,20
DEPARTAMENTO DE NARIÑO							
Córdoba	Agrosavia Alhaja	21,99 ± 0,74	71,71 ± 0,64	1,65 ± 0,08	0,272 ± 0,049	19,54 ± 0,58	0,75 ± 0,10
	Agrosavia Oyanza	20,99 ± 1,10	71,62 ± 0,75	1,66 ± 0,09	0,345 ± 0,067	16,76 ± 3,02	0,75 ± 0,16
	Criolla Colombia	22,01 ± 1,30	71,60 ± 0,46	1,66 ± 0,05	0,366 ± 0,091	18,81 ± 2,10	0,78 ± 0,07
IpiALES	Agrosavia Alhaja	20,81 ± 0,81	79,19 ± 0,81	1,09 ± 0,04	0,043 ± 0,002	16,31 ± 0,33	1,64 ± 0,03
	Agrosavia Oyanza	20,62 ± 0,19	79,38 ± 0,19	1,10 ± 0,02	0,047 ± 0,005	15,89 ± 0,68	1,66 ± 0,02
	Criolla Colombia	20,34 ± 0,35	79,66 ± 0,35	1,00 ± 0,06	0,177 ± 0,002	15,04 ± 0,18	2,23 ± 0,04
Pasto	Agrosavia Alhaja	17,66 ± 0,54	82,34 ± 0,54	1,01 ± 0,01	0,204 ± 0,003	11,95 ± 0,54	2,17 ± 0,03
	Agrosavia Oyanza	19,94 ± 0,11	80,06 ± 0,11	1,16 ± 0,01	0,090 ± 0,001	13,81 ± 0,02	1,65 ± 0,01
	Criolla Colombia	18,87 ± 0,03	81,13 ± 0,03	0,98 ± 0,08	0,161 ± 0,002	14,30 ± 0,21	1,35 ± 0,01
Puerres	Agrosavia Alhaja	23,23 ± 3,15	76,77 ± 3,15	1,04 ± 0,17	0,346 ± 0,098	20,70 ± 3,33	1,41 ± 0,22
	Agrosavia Oyanza	23,63 ± 2,08	76,37 ± 2,08	1,22 ± 0,12	0,282 ± 0,027	20,70 ± 2,05	1,32 ± 0,11
	Criolla Colombia	24,06 ± 0,82	75,94 ± 0,82	1,14 ± 0,13	0,298 ± 0,071	21,21 ± 0,35	1,48 ± 0,13

**Almidón.** La papa es un alimento nutritivo que desempeña funciones energéticas debido a su alto contenido en almidón. Las variables procedentes del Municipio de Sibaté y del Municipio de Puerres para los Departamentos de Cundinamarca y de Nariño respectivamente, presentaron un mayor contenido de este compuesto (Tabla 10.11). Por otra parte, al analizar estadísticamente los datos experimentales de los genotipos cultivados (Tablas 10.9, 10.10 y 10.11), se encontró relación directa entre la GE con los contenidos de materia seca y de almidón, es decir, si aumenta la GE aumentan los contenidos mencionados. Además, presentaron correlaciones (R) altas cercanas a 1 mostrando relación lineal entre la GE y los contenidos de materia seca y de almidón. Por tanto, se obtuvieron las siguientes ecuaciones a partir del modelo de regresión lineal para determinar la GE de los tubérculos de papa diploide:



$$\begin{aligned} GE &= 0,003843 (\% \text{ materia seca}) + 0,99944 & R &= 0,8396 \text{ entre variables} \\ GE &= 0,003181 (\% \text{ almidón}) + 1,02989 & R &= 0,7571 \text{ entre variables} \end{aligned}$$

Así mismo, la correlación entre las variables por el modelo de regresión lineal permite con la GE hallada de los tubérculos, predecir los contenidos de materia seca y de almidón, mediante las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \% \text{ materia seca} &= 183,3945 * GE - 176,5055 & R &= 0,8396 \text{ entre variables} \\ \% \text{ almidón} &= 180,1582 * GE - 177,7681 & R &= 0,7571 \text{ entre variables} \end{aligned}$$

En la Tabla 10.12 se relaciona la GE con los porcentajes de materia seca y de almidón para los tubérculos de papa diploide, cuyos valores se determinaron a partir de las ecuaciones mencionadas anteriormente. En cuanto a la GE, esta se halló según la metodología descrita.

**Azúcares Reductores.** Esta es una variable importante para el procesamiento de los tubérculos, porque se relaciona con el sabor amargo y con las reacciones de pardeamiento no enzimático o reacciones de Maillard, ya que al reaccionar los azúcares reductores con los grupos amino de las proteínas genera un color pardo indeseable en la fritura (Herrera y Rodríguez, 2011). Por esto se prefiere papa diploide con un contenido inferior de 0,3% de azúcares reductores para su procesamiento industrial (Moreno, 2000).

En la Tabla 10.11 se encontró un alto contenido de azúcares reductores en los genotipos del Municipio de Subachoque para el Departamento de Cundinamarca y en los Municipio de Córdoba y de Puerres para el Departamento de Nariño. Herrera y Rodríguez (2011) indican que, para lugares fríos y alta altitud, los tubérculos presentan altos contenido de azúcares reductores. Razón por la cual, estos tubérculos pueden presentar reacciones de pardeamiento más rápidamente por la hidrólisis del almidón e influir en la coloración de los productos procesados sometidos a fritura (Lucas et al., 2011).



**Tabla 10.12**

Estimación de porcentajes de materia seca y de almidón con base en la gravedad específica (GE) de papa diploide

Gravedad específica	Materia seca (%)	Almidón (%)
1,060	17,893	13,200
1,062	18,259	13,560
1,064	18,626	13,920
1,066	18,993	14,281
1,068	19,360	14,641
1,070	19,727	15,001
1,072	20,093	15,361
1,074	20,460	15,722
1,076	20,827	16,082
1,078	21,194	16,442
1,080	21,561	16,803
1,082	21,927	17,163
1,084	22,294	17,523
1,086	22,661	17,884
1,088	23,028	18,244
1,090	23,395	18,604
1,092	23,761	18,965
1,094	24,128	19,325
1,096	24,495	19,685
1,098	24,862	20,046
1,100	25,228	20,406
1,102	25,595	20,766
1,104	25,962	21,127
1,106	26,329	21,487
1,108	26,696	21,847
1,110	27,062	22,208
1,112	27,429	22,568
1,114	27,796	22,928
1,116	28,163	23,288
1,118	28,530	23,649
1,120	28,896	24,009
1,122	29,263	24,369
1,124	29,630	24,730
1,126	29,997	25,090
1,128	30,363	25,450
1,130	30,730	25,811
1,132	31,097	26,171
1,134	31,464	26,531
1,136	31,831	26,892
1,138	32,197	27,252
1,140	32,564	27,612

Nota. Valores calculados a partir de los resultados obtenidos.



**Cenizas.** Las variedades Corpoica Sol Andina y Corpoica Tiba sobresalieron por su alto contenido de minerales (1,29 y 1,34 % respectivamente) cultivadas en el Municipio de Sibaté y, Agrosavia Alhaja y Oyanza del Municipio de Córdoba con el 1,65 -1,66% respectivamente (Tabla 10.11). En general los genotipos arrojaron contenidos de minerales entre 0,62 a 1,66%, cuyos valores se encuentran en el rango reportado por Peña Melo (2015) para variedades diploides. El contenido de cenizas muestra el material mineral presente en las muestras de un alimento que, según lo reportado por el Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF] (2018), en la papa diploide cruda y con cáscara se encuentran minerales como calcio, hierro, sodio y fósforo.

**Proteínas.** La papa tiene un alto contenido de aminoácidos esenciales (proteínas) y se utilizan en muchos productos alimentarios como emulsionantes y estabilizadores de emulsiones (Kärenlampi y White, 2009). Estos componentes son de interés para la industria del almidón o fécula de papa, ya que del subproducto de extracto de papa se pueden purificar grandes cantidades de proteínas, como también se pueden extraer del propio tubérculo (Waglay y Karboune, 2016).

Las proteínas en las variedades expresaron valores entre 0,75 a 2,46% en BH (Tabla 10.11), los cuales están cercanos a los obtenidos por Jiménez et al. (2009) para variedades andinas de 0,8 a 2,5 g/100 g BH. También se encontró diferencias en los valores entre las variedades para los diferentes municipios lo que evidenció que el contenido de proteínas fue afectado por las condiciones ambientales (Rodríguez et al., 2011), como es el caso del Municipio de Córdoba, donde se logró el menor valor para esta característica.

**Capacidad Antioxidante.** Por ABTS, Agrosavia Alhaja y Corpoica Sol Andina presentaron el mayor valor de capacidad antioxidante para sus tubérculos frescos o no cocidos con 9853,2 y 7531,4 TEAC- $\mu$ mol Trolox / 100 g de muestra, respectivamente. Y por FRAP, sobresalió Agrosavia Alhaja y Agrosavia Estrella con 109,4 y 103,17  $\mu$ mol de AA/100 g de muestra (Tabla 10.13). Así mismo, se observó un incremento en los valores de ABTS y FRAP en las muestras cocidas en relación a las muestras en fresco (Tabla 10.12).



Las papas con pigmentaciones amarillas, anaranjadas, rojizas o moradas son reconocidas por su alto contenido de antioxidantes los cuales neutralizan la acción de los radicales libres que generan el daño tisular oxidativo vinculado al inicio y progresión de una amplia gama de enfermedades crónicas (Bianeth y Restrepo, 2013; Reddivari et al., 2007). Esto da un valor agregado a las variedades que las convierte en un alimento funcional.

**Vitamina C.** En la Tabla 10.14 se muestra que Corpoica Tiba, es la variedad que presentó mayor cantidad de vitamina C en fresco o sin cocción (16,02 mg ácido ascórbico/100 g de muestra) solo antecedida por la variedad testigo Criolla Colombia (17,39 mg ácido ascórbico/100 g de muestra). Los resultados permitieron establecer un rango de pérdidas del 40,91 al 67,68% en el contenido de vitamina C. Este micronutriente es hidrosoluble, razón por la cual se evidenció su disminución en las variedades en estudio después de la cocción en agua posiblemente debido a fenómenos de lixiviación (Cuastumal et al., 2016).

Por tanto, en una porción servida de 150 g y cocida de Corpoica Tiba aportaría 13,88 mg de ácido ascórbico y de Corpoica Sol Andina sería 9,09 mg de ácido ascórbico. Según National Institutes of Health (NIH) (2019), la dosis diaria recomendada de vitamina C para niños de 1 a 3 años es de 15 mg, lo cual satisface dicha porción servida; y para adultos de 75 a 90 mg, se complementarían con otros alimentos.

**Fenoles Totales.** Se evidencia en la Tabla 10.14 que Corpoica Sol Andina presentó el más alto contenido en fenoles totales con 268,80 mg de ácido gálico/100 g de muestra liofilizada sin cocción. Igualmente se evidenció un incremento en el valor de este componente para las muestras cocidas en todas las variedades, lo que coincide con Molina et al. (2015). Es importante señalar que los factores genéticos y ambientales desempeñan un papel importante en el contenido fenólico la papa ya que se conoce que estos compuestos actúan como mecanismo de defensa contra insectos, plagas y enfermedades en la planta de la papa (Vásquez-Carrillo et al., 2016) y su valor varía, además del genotipo,



por condiciones de cultivo, proceso de poscosecha y de almacenamiento (Bianeth y Restrepo, 2013). Por otra parte, los métodos de cocción optimizados con temperaturas de cocción relativamente bajas y/o tiempos de cocción cortos de 9 min han demostrado mejorar la disponibilidad de varios compuestos fenólicos en las papas (Perla et al., 2012).

**Tabla 10.13**

Capacidad antioxidante por ABTS y FRAP de las variedades registradas frescas y cocidas frente a la variedad testigo

Variedad	ABTS ( $\mu\text{mol}$ de Trolox/100 g de muestra liofilizada)		FRAP ( $\mu\text{mol}$ AA*/100 g de muestra)	
	Fresca	Cocida	Fresca	Cocida
Agrosavia Alhaja	9853,2	10674,9	109,4	196,0
Agrosavia Oyanza	5424,4	8377,7	89,15	172,9
Corpoica Sol Andina	7531,4	8392,5	78,4	184,08
Corpoica Tiba	6915,6	8426,8	87,8	182,78
Agrosavia Estrella	7258,5	8459,6	103,17	184,46
Criolla Colombia (Testigo)	6528,8	7525,0	85,0	138,6

Nota. \* AA = Ácido ascórbico. Cerón et al. (2018)

**Tabla 10.14**

Vitamina C y fenoles de las variedades registradas frescas y cocidas frente a la variedad testigo

Variedad	Vitamina C (mg AA*/100 g de muestra)		Fenoles (mg GAE**/100 g de muestra liofilizada)	
	Fresca	Cocida	Fresca	Cocida
Agrosavia Alhaja	15,88	6,29	259,20	355,80
Agrosavia Oyanza	13,20	7,80	161,60	278,20
Corpoica Sol Andina	12,85	6,06	268,80	306,24
Corpoica Tiba	16,02	9,25	216,20	283,35
Agrosavia Estrella	14,88	7,12	253,77	289,96
Criolla Colombia (Testigo)	17,39	5,62	219,20	253,26

Nota. \* AA = Ácido ascórbico. \*\*GAE = Acido Gálico, Cerón et al. (2018)



Cereceres-Aragón et al. (2018) publicaron que una ingesta diaria de fenoles en adultos de  $280 \pm 130$  a  $2.771 \pm 1.552$  mg/día presentan beneficios para la salud. En cuanto a la porción servida de 150 g y cocida de Corpoica Tiba contribuiría con 425,02 mg de GAE y de Corpoica Sol Andina con 459,36 mg de GAE, apoyando a los consumidores componentes de prevención de enfermedades.

**Carotenoides.** La presencia de carotenoides en la papa diploide se ha determinado por investigadores, como la zeaxantina (color naranja) y la luteína (color amarillo), cuyas proporciones varían con el cultivo y la variedad (Burgos et al., 2009; Leyton et al., 2013). En cuanto a las variedades registradas más el testigo Criolla Colombia de piel y de carne de color amarillo, se les determinó presencia del carotenoide  $\alpha$ -caroteno. Estos componentes son pigmentos naturales que se encuentran de forma natural en muchos tubérculos y con valor nutricional en la dieta humana (Stange, 2016). El conocimiento de los carotenoides presentes en la papa diploide como pigmentos naturales, puede favorecer su aprovechamiento en la industria de alimentos (Leyton et al., 2013).

**Tabla 10.15**

*Carotenoide  $\alpha$ -caroteno en las nuevas variedades registradas y en la variedad Criolla Colombia*

Variedades	$\mu\text{g} / \text{g}$ de muestra en BS*
Corpoica Sol Andina	1,1834
Agrosavia Estrella	1,3018
Agrosavia Oyanza	1,2722
Corpoica Tiba	1,3525
Agrosavia Alhaja	1,1743
Criolla Colombia (testigo)	0,7858

Nota. \*BS: Base seca, Leyton et al. (2013)



Según la Tabla 10.15, Corpoica Tiba fue la nueva variedad que presentó mayor contenido de  $\alpha$ -caroteno con  $1,3525 \mu\text{g} / \text{g}$  de muestra en BS por encima de la variedad Criolla Colombia usada como testigo. Este carotenoide se ha determinado en variedades con carne amarilla, como Lu et al. (2001), quienes reportaron contenidos de  $64$  y  $111 \mu\text{g} / 100 \text{g}$  de muestra en BH para papa diploide.

### Conclusiones

Debido a la gran biodiversidad de materiales de papa diploide de la Colección Central Colombiana de Papa del Banco de Germoplasma Vegetal del estado colombiano que administra AGROSAVIA, es importante conocer sus características físicas y químicas porque pueden ser una nueva opción de demanda en el mercado. Por esto es importante continuar con estudios para establecer sus posibles usos y aplicaciones en la industria de alimentos; así como, los beneficios nutricionales de estas variedades diploides.

### Referencias

- Abedi G., Abdollahpour S. y Bakhtiar M.R. (2019). The physical and mechanical properties of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers as related to the automatic separation from clods and stones. *Research in Agricultural Engineering*, 65(3), 77–84.
- Agle, W.M. y Woodbury, G.W. (1968). Specific gravity-dry matter relationship and reducing sugar changes affected by potato variety, production area and storage. *American Potato Journal*, 45(4), 119-131.
- Alvarez Ochoa, C.P., Garnica Holguin, A.M., Prieto Contreras, L., Poveda Pisco, J.C. y Universidad de La Salle. Patente de Invención NC2018/0008702 (2018). Método indirecto para la determinación de almidones a través de azúcares reductores en vegetales. Colombia: Superintendencia de Industria y Comercio.
- American Society of Agricultural and Biological Engineers [ASAE]. (2000). *Compression Test of Food Materials of Convex Shape*. (ASAE S368.4). ASAE.



- Association of Official Analytical Collaboration [AOAC] *International*. (2005a). AOAC 925.10 *Official methods of analysis*. Solids (total) and moisture in flour. AOAC International.
- Association of Official Analytical Collaboration [AOAC] *International*. (2005b). *Official methods of analysis of the AOAC 940.26*. Ash of fruits and fruit products. AOAC International.
- Association of Official Analytical Collaboration [AOAC] *International*. (2005c). *Official methods of analysis of the AOAC 935.11*. Protein in animal feed. AOAC International.
- Bello, L.E. y Pinzón, N.F. (1997). *Evaluación del efecto del tamaño de tubérculo-semilla sobre el rendimiento en papa criolla, variedad "Yema de Huevo" (Solanum phureja Juz. et Buk)*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21672?show=full>
- Benzie, I.F. y Strain, J.J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of Antioxidant Power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bianeth, C. y Restrepo L.P. (2013). Compuestos fenólicos y carotenoides en la papa: revisión. *Actualización en nutrición* 14(1), 25-32
- Biswas, A.K., Sahoo, J. y Chatli, M.K. (2011) A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of  $\beta$ -carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets, *Food Science and Technology*, 44, 1809-1813.
- Booth, R.H. y Shaw, R.L. (1989). *Principios de almacenamiento de la papa*. Centro Internacional de la papa (CIP).
- Buitrago, G.V., López, A.P., Coronado, A.P. y Osorno, F.L. (2004). Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(1), 102-110. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000100015>



- Cereceres-Aragón, A., Rodrigo-García, J., Álvarez-Parrilla, E., y Rodríguez-Tadeo, A. (2018). Ingestión de compuestos fenólicos en población adulta mayor. *Nutrición hospitalaria*, 36 (2), 1-27.  
<https://dx.doi.org/10.20960/nh.2171>
- Cerón, M.S., Álzate, A.F., Rojano, B.A. y Ñustez, C.E. (2018). Composición fisicoquímica y propiedades antioxidantes de genotipos nativos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja). *Información tecnológica*, 29 (3), 205-216. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300205>
- Chakespari A.G., Rajabipour A. y Mobli H. (2010). Post harvest physical and nutritional properties of two apple varieties. *Journal of Agricultural Science*, 2(3), 61–68.
- Cuastumal, H.G., Ledesma, M.A. y Ordoñez, L.E. (2016). Vitamina C y color superficial en tomate y pimentón verde: efecto de los tratamientos térmicos. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 20, 32 – 36.
- Espín, S., Villacrés, E. y Brito, B. (2004). Caracterización físico - química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. En: V. Barrera, C. Tapia y A. Monteros, *Raíces y tubérculos andinos: alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* (pp. 91-116). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Internacional de la Papa (CIP), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2003). *Agricultura Orgánica, Ambiente y Seguridad Alimentaria*. FAO.
- Gallón Bedoya, M., Cortés Rodríguez, M., y Cotes Torres, J.M. (2019). Evaluation and modeling of the properties and antioxidant characteristics of a new potato variety (Primavera) during storage at 4 °C. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 72(2), 8873-8881.  
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n2.75155>



- Golmohammadi, A. y Afkari-Sayyah A.H. (2013) Long-Term Storage Effects on the Physical Properties of the Potato. *International Journal of Food Properties*, 16(1), 104-113. h  
<https://doi.org/10.1080/10942912.2010.529978>
- Gómez, R. (2000). *Guía para las Caracterizaciones Morfológicas Básicas en Colecciones de papas Nativas. Germoplasma de Papa. Departamento de Mejoramiento y recursos Genéticos. Centro Internacional de la Papa (CIP).*
- Goñi, S.M. y Salvadori, V.O. (2015). *Color measurement from digital images.*  
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/45660>
- Gould, W.A. (1999). *Potato production, processing y technology.* Woodhead Publishing.
- Grunenfelder L, Hiller LK y Knowles NR. (2006). Color indices for the assessment of chlorophyll development and greening of fresh market potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, 40(1), 73-81. h  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.12.018>
- Herrera, A. y Rodríguez, L., (2011). *Tecnologías de producción y transformación de papa criolla.* Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández, N.C. y Suárez, J.A. (2009). *Caracterización de accesiones de Solanum phureja procedentes del banco de germoplasma vegetal que administra Corpoica por sus caracteres morfológicos, agronómicos e industriales* [Tesis de pregrado, Universidad de La Salle].  
[https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_alimentos/40](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/40)
- Huamán, Z. (2008). *Descriptores morfológicos de la papa (Solanum tuberosum L.).* Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife (CCBAT).
- Huertas, J. y Ligarreto, G.A. (2001). Clasificación de germoplasma de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*) por parámetros de calidad para la industria de pasabocas. *Agronomía Colombiana*, 18(1-3), 79-87.



Instituto Colombiano de Bienestar Familiar [ICBF]. (2018). *Tabla de composición de alimentos colombianos (TCAC)*. ICBF y Universidad Nacional de Colombia.

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2015). Resolución 003168. 7/09/2015. Reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento. ICA.

<https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017a). Resolución 00011599. 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Corpoica-Sol Andina para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA.

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2017b). Resolución 00011600. 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Corpoica-Tiba para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA.

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2018). Resolución 00020077. 01/02/2018. Modificación parcial de la Resolución 00011600 del 23/09/2017 de la variedad de papa criolla Corpoica-Tiba para la Subregión Natural Altiplano Cundiboyacense. ICA.

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2019a). Resolución 00017700. 5/11/2019. Registro de la variedad Agrosavia Oyanza para Región Andina, Subregión Nudo de los Pastos. ICA.

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2019b). Resolución 00017702. 5/11/2019. Registro de la variedad Agrosavia Alhaja para Región Andina, Subregión Nudo de los Pastos. ICA.

Instituto Colombiano Agropecuario [ICA]. (2020). Resolución 0068122 20/05/2020. Modificación parcial a la Resolución ICA 1161 del 23/09/2017. Registro de la variedad de papa criolla Agrosavia Estrella. ICA.



- Jiménez, M. E., Rossi, A. M., y Sammán, N. C. (2009). Phenotypic, agronomic and nutritional characteristics of seven varieties of Andean potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 613-616.
- Kärenlampi, S.O y White, P.J. (2009). Chapter 5 - Potato Proteins, Lipids, and Minerals. En J. Singh y L. Kaur (Eds), *Advances in Potato Chemistry and Technology* (pp. 99-125). Academic Press.
- Leyton, G., Abdo, R., Prieto, L., Poveda, J.C. y Cerón, M.S. (2013). Carotenoids extracted from promising genotypes of Criolla potato (*Solanum tuberosum* Group *Phureja*) for food industry. *Revista Latinoamericana de la papa*, 17(2), 103-116. <http://35.231.225.15/index.php/rev-alap/article/view/200>
- Lu, W., Haynes, K., Wiley, E. y Clevidence, B. (2001). Carotenoid Content and Color in Diploid Potatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 126, 722–726. <http://dx.doi.org/10.21273/JASHS.126.6.722>
- Lucas, J.C., Quintero, V.D., Vasco, J.F., y Cuellar, L. (2011). Evaluación de los parámetros de calidad durante la fritura de rebanadas de papa criolla. *Scientia et Technica*, 16(48), 299-304. <http://revistas.utp.edu.do>
- Martínez, A., Lee, R., Chaparro, D. y Páramo, S. (2003). *Postcosecha y mercado de hortalizas de clima frío bajo prácticas de producción sostenible*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Miller, G. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428.
- Molina, Y., Caez G.R., Rodríguez, M.L., Cerón, M.S. y Garnica, A.M. (2015). Contenido de antioxidantes en papas criollas nativas (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*) en proceso de precocción y congelación. *Alimentos Hoy*, 23(36), 31-41.  
<https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/341/292>
- Moreno, J. (2000). Calidad de la papa para usos industriales. *Papas colombianas 2000 con el mayor entorno ambiental*, 3(1-2), 44-77.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12324/20385>



- Moreno, J.D., Cerón, M.S., y Valbuena, R.I. (2009). *Papas Nativas Colombianas, Catálogo de 60 Variedades*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica).
- Moreno, M. (2017). La importancia del color en los alimentos. *Revista Alimentaria*, 6–7.
- Mosquera, C. J. (2003). *La modesta papa criolla Solanum phureja*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. <http://hdl.handle.net/11348/3649>
- Muñoz, M. (2014). Composición y aportes nutricionales de la papa. *Revista Agrícola*, 36-37.
- National Institutes of Health – NIH. (2019). *Datos sobre la vitamina C*. Office of Dietary Supplements. <http://ods.od.nih.gov/HealthInformation/RecursosEnEspanol.aspx>
- Ñustez, C.E. (2011). *Variedades colombianas de papa*. Universidad Nacional de Colombia, Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria [Fontagro], Instituto de Investigaciones agropecuarias [INIA], Red Latinpapa Red Iberoamericana de Innovación en Mejoramiento y Diseminación de la papa. <https://drive.google.com/file/d/0B0d7qZ6xkUiiRTVzdzd5dnFsdjg/view>
- Palacios, B.C., Jaramillo, V.S., González, S.L. y Cotes, T. J. (2008). Efecto de la fertilización sobre la calidad de la papa para procesamiento en dos suelos antioqueños con propiedades ándicas. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 487-496. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/12002>
- Patel, MB, Alok Nath ER, y Dr. Mayani JM. (2018). Evaluation of physical and mechanical properties of fresh potato. *International Journal of Chemical Studies* 6(5): 1454-1459.
- Peña Melo, C. (2015). Evaluación del contenido nutricional y actividad antioxidante en *Solanum tuberosum* Grupo *Phureja* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia].



- Perla, V., Holm, D.G., y Jayanty, S.S. (2012). Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers. *LWT - Food Science and Technology*, 45(2), 161–171.
- Piñeiro-Di-Blasi, J.I., Martínez-Torres, J., Pozo-Antonio, J.S., Iglesias-Comesaña, C., Cuesta, L., Taboada-Castro, J., Gajino-Núñez, P., y Tresaco-Vidaller, E. (2014). Desarrollo de una aplicación para la comparación rápida de pigmentos a partir de sus coordenadas colorimétricas. *DYNA*, 81 (184), 49-54.
- Prieto, L., Álvarez, C.P., Cerón, M.S., Garnica, A.M., y Molina Y. (2013). *Manual de procesamiento de la papa criolla*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Universidad de La Salle y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).  
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13451>
- Re, R., Pellegrini N.; Proteggente A.; Pannala Y.; Yang M.; y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231-1237.
- Reddivari, L., Hale, A.L. y Miller, J.C. (2007). Determination of phenolic content, composition and their contribution to antioxidant activity in specialty potato selections. *American Journal of Potato Research*, 84, 275-282.  
<https://doi.org/10.1007/BF02986239>
- Reyes, L.F. y Cisneros-Zevallos L. (2007). Degradation kinetics and colour of anthocyanins in aqueous extracts of purple- and red-flesh potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Food Chemistry* 100(3): 885-894.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.11.002>
- Rodríguez, D., Núñez, C.E. Cotes, M.J. y Rodríguez L.E. (2011). Heredabilidad del contenido de proteína total en papa diploide *Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*. *Bragantia*, 70 (4), pp. 759-766. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400005>
- Rosenthal, A.J. (2001). *Textura de los alimentos medida y percepción*. Acribia.



- Shakya, R. y Navarre, D.A. (2006). Rapid screening of ascorbic acid, glycoalkaloids, and phenolics in potato using high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 5253-5260.
- Schippers, P. (1976). The relationship between specific gravity and percentage dry matter in potato tubers. *American Potato Journal*, 53(4), 111-122.
- Stange, C. (2016). *Carotenoids in Nature. Biosynthesis, Regulation and Function*. Springer.
- Stark, J.C, Love, S.L. y Knowles, N.R. (2020). Tuber Quality. En J. Stark, M. Thornton, y P. Nolte (Eds), *Potato Production Systems* (pp.479-497). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-39157-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-39157-7_15)
- Torres, L., Montesdeoca, F. y Andrade, J. (2011). *Manejo del tubérculo semilla*. Centro Internacional de la Papa (CIP). <http://cipotato.org/es/sin-categorizar/manejo-del-tuberculo-semilla/>
- Vázquez-Carrillo, M.G., Santiago-Ramos, D., Rubio-Covarrubias, O.A., Torres-Cervantes, C.M., Ayala-Rosas, A.R., y Vargas-Vázquez, M.L.P. (2016). Efecto ambiental en características fisicoquímicas de papas de la Mesa Central de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(5), 1051-1064.
- Waglay, A. y Karboune, S. (2016). Chapter 4 - Potato Proteins: Functional Food Ingredients. En J. Singh y L. Kaur (Eds.) *Advances in Potato Chemistry and Technology (Second Edition)*, pp 75-104. Academic Press.
- Zapata, K., Cortes, F.B. y Rojano, B.A. (2013). Polifenoles y actividad antioxidante del fruto de Guayaba Agria (*Psidium araca*). *Información tecnológica*, 24(5), 103-112.

