



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Evaluación del contenido nutricional y actividad antioxidante en *Solanum tuberosum* grupo Phureja**

**Clara Bianeth Peña Melo**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2015

# **Evaluación del contenido nutricional y actividad antioxidante en *Solanum tuberosum* grupo Phureja**

**Clara Bianeth Peña Melo**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ciencia y Tecnología de alimentos**

Directora

Msc. Luz Patricia Restrepo Sánchez

Línea de Investigación:

Análisis de nutrientes en vegetales

Grupo de Investigación:

Estudios de cambios químicos y bioquímicos de alimentos frescos y procesados

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

Bogotá, Colombia

2015

*A Dios, por sus bendiciones.*

*A mi abuelita Angélica y a mi familia por su  
amor y comprensión.*

*A mi Paco por su amor y apoyo en toda esta etapa.*

*La gota abre la piedra, no por su fuerza sino por  
su constancia*

## **Agradecimientos**

Deseo expresar mis agradecimientos a las personas e instituciones que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo.

Al proyecto SAN Nariño y todos sus integrantes por todas las enseñanzas, espacios de discusión y fraternidad en torno a la papa, la seguridad alimentaria, la nutrición, los estudios de género y el empoderamiento de la mujer. Estar en este proyecto fue una experiencia única que realizó valiosos aportes en mi vida profesional y a la construcción de experiencias y momentos significativos en otros entornos diferentes a la academia y un laboratorio.

A la profesora Luz Patricia Restrepo Sánchez por su confianza, cariño y su contribución en mi desarrollo personal y profesional.

Al profesor Carlos Narváez por su apoyo y contribución en mi desarrollo profesional.

A mis compañeras del componente de calidad nutricional del proyecto San Nariño (Dianita Duarte, Clarita Piñeros, Alejita Guateque y María Cecilia Delgado).

Al grupo de investigación “Estudio de cambios químicos y bioquímicos de los alimentos frescos y procesados” por sus aportes y retroalimentaciones en el desarrollo de esta investigación.

Al grupo de investigación “Genética de rasgos de interés agronómicos”, en especial a los profesores Teresa Mosquera y David Cuellar y a los estudiantes Felipe Sarmiento, Deisy Juyó y Alejandra Castro.

A mis compañeros y personas que me colaboraron en el laboratorio de alimentos (Sandra Arévalo, Carolina Castro, Adriana Rada, Ángela Amaya, Cristina Moncayo y Jonathan Páez), laboratorio de frutas tropicales (Mauricio Espinal, Elizabeth Moreno, Mayra Quintero y Diego Dávila) y laboratorio de biotecnología vegetal (María Cecilia Delgado y Rubén Cruz) por su grata compañía.

Al International Development Research Center (IDRC) y al Department for Foreign Affairs Trade and Development (DFATD) del gobierno de Canadá por la financiación.

Al Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible por el convenio de acceso a recursos genéticos RGE0069.



## Resumen

Colombia posee un germoplasma de papa *Solanum Tuberosum* grupo Phureja con poca información del contenido nutricional y existiendo la necesidad de articular la agricultura y la nutrición como puede ser en el desarrollo de nuevos cultivares con mejor contenido nutricional para el consumo en fresco y/o procesamiento, se caracterizó desde el contenido nutricional por medio de un análisis proximal y el contenido de minerales genotipos de papa de la Colección de trabajo de papa diploide de la Universidad Nacional de Colombia (CCC)(94 genotipos para el análisis proximal y 81 genotipos para el contenido mineral), 13 cultivares nativos (CN) colectados en el departamento de Nariño, 7 clones avanzados, 4 variedades comerciales de papa criolla (diploides) y dos variedades comerciales de papa de año (tetraploides) después de someterse a un proceso de selección, lavado, cocción y liofilización. También se evaluaron diez variedades comerciales de papa por el contenido de fenoles totales, flavonoides totales, ácidos hidroxicinámicos (clorogénico, *cripto*-clorogénico, *neo*-clorogénico y caféico) y la actividad antioxidante (AA) por diferentes métodos (ABTS, FRAP, DPPH y estrés oxidativo en levaduras). Entre los resultados obtenidos se encontró una gran variabilidad en el contenido de macronutrientes y micronutrientes en la CCC y CN, sobresaliendo algunos genotipos promisorios para los programas de mejoramiento o recomendación en la dieta de la población con problemas de déficit en nutrientes, especialmente en proteína, Fe, Zn y Ca. Por ejemplo, mientras que el contenido de proteína en las papas diploides comerciales fue máximo de 2,1 g/100 g base húmeda (BH), en la CCC y CN tuvieron valores de hasta 4,1 g/100 g BH (2,0 veces más que lo que tienen las papas comerciales actualmente). Al evaluar el contenido de Fe, Zn y Ca se presenta una situación similar: 0,6 mg/100 g BH de Fe en papas comerciales mientras que en la CCC se obtuvo valores hasta 1,7 mg/100 g BH (2,8 veces más que lo que tienen las papas comerciales), para el Zn 0,8 mg/100 g BH en papas comerciales mientras que en la CCC se obtuvo valores hasta 1,6 mg/100 g BH (2,0 veces más que lo que tienen las papas comerciales), para el Ca hasta 9,5 mg/100 g BH en papas comerciales mientras que en la CCC se obtuvo valores hasta 54,4 mg/100 g BH (5,7 veces más que lo que tienen las

papas comerciales). Así mismo, la evaluación de la AA y compuestos fenólicos de los cultivares comerciales de papa colombianos, mostró mayores valores para los cultivares diploides en comparación a los cultivares tetraploides. Criolla Dorada mostró el mayor contenido de fenoles totales (556,9 mg de ácido gálico en base seca (BS)) y AA por ABTS (54,6  $\mu\text{mol}$  trolox/g BS), mientras el cultivar Criolla Suapa presentó el mayor contenido de flavonoides totales (87,5  $\mu\text{g}$  kaempferol/100 g de papa BS, ó 48,8  $\mu\text{g}$  mirecetin/100 g de papa BS) y AA FRAP (17,6  $\mu\text{mol}$  trolox/g BS o 43,2  $\mu\text{mol}$   $\text{FeSO}_4$ /g BS.), Criolla Ocarina mostro el mayor contenido de ácido *neo*-clorogénico (3,8 mg/100 g de papa BS), ácido *cripto*-clorogénico (23,5 mg/100 g de papa BS) y AA por DPPH (35,4  $\mu\text{mol}$  trolox/g BS). Criolla Colombia presento el mayor contenido de ácido clorogénico (173,5 mg/100 g BS) y Criolla Paisa el mejor contenido de ácido cafeico (8,4 mg/100 g BS) La actividad antioxidante por método biológico de crecimiento de levaduras sometidas a estrés oxidativo mostro un mejor perfil de crecimiento de las levaduras que contenían el extracto de vitamina C (control positivo) seguido de Criolla Suapa. La actividad antioxidante en los tubérculos de papa se correlacionó positivamente con el contenido de compuestos fenólicos. En general en el germoplasma de papa *S. Phureja* se encontró una alta variabilidad para los nutrientes evaluados, lo que permitirá avanzar en estudios genéticos, moleculares y de selección de nuevas variedades de papa con mejor contenido nutricional.

**Palabras clave:** *Solanum tuberosum* grupo Phureja, papa, análisis proximal, contenido mineral, nutrición.

## Abstract

Colombia has a germplasm of potato *Solanum tuberosum* group Phureja, with little information nutritional content and the need to relation between agriculture and nutrition for the development of new cultivars with improved nutritional content for fresh consumption and / or processing, was characterized from the nutritional content (proximal analysis and mineral content) potato genotypes of the Collection of diploid potato work of the National University of Colombia (CCC) (94 genotypes for proximate analysis and 81 genotypes in the mineral content), 13 native cultivars (CN) collected in the department of Nariño, 7 Advanced clones, 4 commercial varieties of potato (diploid) and two commercial varieties of potatoes (tetraploid) after undergoing a selection process, washing, cooking and freeze-dried. Ten commercial varieties of potato were also evaluated by the content of total phenol, total flavonoids, hydroxycinnamic acids (chlorogenic, *crypto*-chlorogenic, *neo*-chlorogenic and caffeic) antioxidant activity (AA) by different methods (ABTS, FRAP, DPPH and oxidative stress in yeast). Among the results found a wide variability content of macronutrients and micronutrients in CCC and CN, standing some promising genotypes for breeding programs or recommendation in the diet of people with problems of deficit in nutrients, especially for protein, Fe, Zn and Ca. For example, while the protein content in commercial diploid potatoes was up to 2.1 g/100 g fresh weight (FW) in the CCC and CN values were up to 4.1 g/100 g FW (2.0 fold change as compared to commercial potatoes). To assess the content of Fe, Zn and Ca a similar situation occurs: 0.6 mg/100 g FW of Fe in commercial potatoes while the CCC was obtained values up to 1.7 mg/100 g FW (2.8 fold increased as compared to commercial potatoes) to 0.8 mg Zn/100 g FW commercial potatoes while the CCC was obtained values up to 1.6 mg/100 g FW (2.0 fold increased as compared to commercial potatoes), for Ca up to 9.5 mg/100 g FW commercial potatoes while the CCC values was obtained to 54.4 mg/100 g FW (5.7 fold increased as compared to commercial potatoes). Also, the evaluation of the AA and phenolic compounds from commercial potato cultivars Colombians, showed higher values

observed compared diploid to tetraploid cultivars. Criolla Dorada showed the highest total phenol content (556.9 mg of gallic acid on a dry weight (DW) and AA by ABTS (54.6  $\mu\text{mol}$  trolox/g DW), while the cultivar Criolla Suapa had the highest content of flavonoids Total (87.5  $\mu\text{g}$  kaempferol/100 g DW, or 48.8  $\mu\text{g}$  mirecetin/100 g DW) and AA FRAP (17.6 /g  $\text{FeSO}_4$  DW or 43.2  $\mu\text{mol}$  trolox/g DW), Criolla Ocarina showed the highest content of *neo*-chlorogenic acid (3.8 mg/100 g DW), *crypto*-chlorogenic acid (23.5 mg/100 g DW) and AA by DPPH (35.4  $\mu\text{mol}$  trolox /g DW). Criolla Colombia had the highest content of chlorogenic acid (173.5 mg/100 g DW) and Criolla Paisa the best content of caffeic acid (8.4 mg/100 g DW) The antioxidant activity by biological method under yeast growth oxidative stress showed a better growth profile of yeast extract containing vitamin C (positive control) followed by Criolla Suapa. The antioxidant activity in potato tubers was positively correlated with the content of phenolic compounds. Overall in the potato germplasm *S. Phureja* have high variability for nutrients, this results allow progress in genetic, molecular and selection of new potato varieties with improved nutritional content

**Keywords:** *Solanum tuberosum* group Phureja, potato, proximate analysis, mineral content, nutrition.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Lista de abreviaturas.....</b>	<b>XVII</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Análisis proximal en genotipos de <i>Solanum tuberosum</i> grupo Phureja.....</b>	<b>6</b>
1.1 Introducción .....	7
1.2 Materiales y métodos.....	9
1.2.1 Material Vegetal .....	9
1.2.2 Preparación de las muestras .....	10
1.2.3 Análisis proximal .....	11
1.2.4 Aporte a las ingesta alimentarias de referencia de nutrientes.....	12
1.2.5 Análisis estadístico .....	12
1.3 Resultados y análisis .....	13
1.3.1 Contenido de humedad .....	13
1.3.2 Contenido de proteína.....	16
1.3.3 Contenido de grasa total .....	19
1.3.4 Contenido de fibra dietaria total, fibra dietaria soluble e insoluble .....	21
1.3.5 Contenido de carbohidratos digestibles.....	24
1.3.6 Contenido de cenizas.....	25
1.3.7 Aporte de calorías .....	26
1.3.8 Contribución a las Ingestas Alimentarias de nutrientes .....	27
1.3.9 Análisis multivariado para el contenido de macronutrientes .....	28
1.4 Conclusiones y recomendaciones .....	33
1.4.1 Conclusiones .....	33
1.4.2 Recomendaciones .....	34
<b>2. Contenido mineral en <i>Solanum tuberosum</i> grupo Phureja.....</b>	<b>36</b>
2.1 Introducción .....	37
2.2 Metodología.....	40
2.2.1 Material vegetal.....	40
2.2.2 Preparación de la muestra .....	41
2.2.3 Análisis del contenido de macrominerales y minerales traza.....	41
2.2.4 Aporte a la ingesta diaria recomendada de minerales .....	42
2.2.5 Análisis estadístico.....	42

2.3	Resultados y análisis .....	42
2.3.1	Contenido de minerales traza.....	43
2.3.2	Contenido de macrominerales.....	48
2.3.3	Contribución a los valores diarios recomendados de ingesta de minerales .....	54
2.3.4	Análisis multivariado para el contenido de minerales. ....	60
2.4	Conclusiones y recomendaciones .....	66
2.4.1	Conclusiones .....	66
2.4.2	Recomendaciones .....	66
<b>3.</b>	<b>Actividad antioxidante y compuestos fenólicos en papa.....</b>	<b>67</b>
3.1	Introducción .....	68
3.2	Materiales y métodos.....	69
3.2.1	Material vegetal y preparación de la muestra .....	69
3.2.2	Extractos .....	70
3.2.3	Métodos .....	71
3.2.4	Análisis estadístico.....	75
3.3	Resultados y discusión .....	75
3.3.1	Contenido de fenoles totales .....	75
3.3.2	Flavonoides totales .....	76
3.3.3	Ácidos hidroxicinámicos .....	78
3.3.4	Actividad antioxidante .....	81
3.3.5	Ensayo de estrés oxidativo en levaduras ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ).....	87
3.4	Conclusiones y recomendaciones .....	88
3.4.1	Conclusiones .....	88
3.4.2	Recomendaciones .....	89
<b>4.</b>	<b>Consideraciones generales del contenido nutricional y actividad antioxidantes en tubérculos de papa colombiana.....</b>	<b>91</b>
<b>A.</b>	<b>Anexo: Características de los clones avanzados .....</b>	<b>107</b>
<b>B.</b>	<b>Puesta a punto del método de cocción .....</b>	<b>108</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo: Valores del análisis proximal y contenido mineral .....</b>	<b>112</b>
<b>D.</b>	<b>ICP-OES .....</b>	<b>124</b>
<b>E.</b>	<b>Estadística análisis multivariado .....</b>	<b>126</b>
<b>F.</b>	<b>Anexo: Curvas de calibración y Espectros Uv Vis .....</b>	<b>129</b>
<b>G.</b>	<b>Anexo: Divulgación de los resultados.....</b>	<b>130</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-1:</b> Contenido de humedad en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	14
<b>Figura 1-2:</b> Contenido de proteína en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	17
<b>Figura 1-3:</b> Contenido de grasa total en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema).....	20
<b>Figura 1-4:</b> Contenido de fibra dietaria total en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	21
<b>Figura 1-5:</b> Contenido de fibra dietaria soluble en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	22
<b>Figura 1-6:</b> Contenido de fibra dietaria insoluble en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Pastusa Suprema) de papa cocida.....	23
<b>Figura 1-7:</b> Contenido de carbohidratos digestibles en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Pastusa Suprema) de papa cocida.....	25
<b>Figura 1-8:</b> Contenido de cenizas en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Pastusa Suprema) de papa cocida.....	26
<b>Figura 1-9:</b> Dendograma en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Pastusa Suprema) de papa cocida evaluadas por macronutrientes.....	31
<b>Figura 1-10:</b> Biplot del análisis de componentes principales para el análisis proximal y calorías en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2	

genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	32
<b>Figura 2-1:</b> Contenido de hierro en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	44
<b>Figura 2-2:</b> Contenido de zinc en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	46
<b>Figura 2-3:</b> Contenido de manganeso en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	47
<b>Figura 2-4:</b> Contenido de cobre en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	48
<b>Figura 2-5:</b> Contenido de potasio en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema).....	49
<b>Figura 2-6:</b> Contenido de calcio en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema).....	51
<b>Figura 2-7:</b> Contenido de fósforo y magnesio en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema).....	52
<b>Figura 2-8:</b> Contenido de sodio y azufre en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema).....	53
<b>Figura 2-9:</b> Dendograma para el contenido mineral en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	62
<b>Figura 2-10:</b> Biplot para el contenido mineral en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	63
<b>Figura 3-1:</b> Contenido de fenoles totales en diez variedades de papa.....	76
<b>Figura 3-2:</b> Contenido de flavonoides totales en tubérculos de diez variedades comerciales de papa. A- expresado en µg Kaempferol/100g de papa base seca (BS). B- expresado en µg Mirecetin/100g de papa BS.....	77

---

<b>Figura 3-3:</b> Perfiles cromatográficos a 325 nm de ácidos hidroxicinámicos A- mezcla de patrones a 7,5 ppm. B- Criolla Colombia.....	<b>78</b>
<b>Figura 3-4:</b> Actividad antioxidante en tubérculos de 10 variedades de papa cultivadas en Colombia.....	<b>83</b>
<b>Figura 3-5:</b> Biplot para la actividad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales en cultivares comerciales colombianos de papa.....	<b>85</b>
<b>Figura 3.6:</b> Perfil de crecimiento de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> sometida a estrés oxidativo con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 1,0 mM.....	<b>88</b>

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1:</b> Parámetros de cocción de los tubérculos de papa.....	11
<b>Tabla 1-2:</b> Promedios del análisis proximal en 118 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> de papa cocida.....	16
<b>Tabla 1-3:</b> Calidad de proteína de algunos alimentos.....	19
<b>Tabla 1-4:</b> Porcentaje de contribución a la de acuerdo a las recomendaciones de la ingesta recomendada para adultos, basados en un servicio (110 g en base húmeda) de papa. ....	27
<b>Tabla 1-5:</b> Correlaciones de Pearson entre las variables de análisis proximal.....	33
<b>Tabla 2-1:</b> Contenido de minerales traza en tubérculos de papa cocida expresados en mg/100g base seca en 105 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.....	43
<b>Tabla 2-2:</b> Promedio de macrominerales en tubérculos de papa cocida expresado en mg/100g en base seca en 105 genotipos de <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i> (Diacol Capiro y Patusa Suprema).....	50
<b>Tabla 2-3:</b> Porcentaje de contribución a la ingesta de macrominerales para un adulto de 19 a 50 años, basados en un servicio (110 g en base húmeda) de papa cocida con cáscara. ....	55
<b>Tabla 2-4:</b> Porcentaje de contribución a la ingesta de minerales traza para un adulto de 19 a 50 años, basados en un servicio (110 g en base húmeda) de papa cocida con cáscara.....	58
<b>Tabla 2-5:</b> Correlaciones de Pearson para el contenido mineral.....	65
<b>Tabla 3-1:</b> Contenido de ácidos hidroxicinámicos en tubérculos de 10 variedades de papa cultivadas en Colombia. Se indica el promedio (en mg/100g en base seca $\pm$ desviación estándar) de tres repeticiones.....	79
<b>Tabla 3-2:</b> Correlaciones entre la capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos en papa.....	86

## Lista de abreviaturas

### Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
AA	Actividad antioxidante
ABTS	2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-ácido-6-sulfónico)
BH	Base húmeda
BS	Base seca
CA	Clones avanzados
CCC	Colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia
CCD	Cultivares comerciales diploides
CCT	Cultivares comerciales tetraploides
CH	Carbohidratos disponibles
CN	Cultivares Nativos
DAD	Arreglo de diodos
DPPH	2,2-difenil-2-picrilhidrazilo
IDR	Ingesta dietética de referencia
FDI	Fibra dietaria insoluble
FDS	Fibra dietaria soluble
FDT	Fibra dietaria total
FLT	Flavonoides totales
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
FT	Fenoles totales
UHPLC	Cromatografía líquida de ultra alta presión



# Introducción

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los cultivos más importantes desde varios puntos de vista como la agricultura, la economía, la industria, la nutrición y la seguridad alimentaria (Lutaladio & Castaldi, 2009), ocupando el cuarto puesto de consumo a nivel mundial, después del arroz, el trigo y el maíz (Mosquera et al., 2013; Visser et al., 2009). En Colombia el área de cultivo de papa en los últimos diez años se ubica en un rango entre 122.000 a 138.631 hectáreas al año. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2005) la producción de papa en Colombia se concentra en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Nariño y Antioquia. La mejor producción del cultivo se ubica entre los 2.500 a los 3.000 metros sobre el nivel de mar. Alrededor de 90.000 familias se encuentran dedicadas a la producción de este cultivo, en especial en las regiones frías en donde es el cultivo más representativo (FEDEPAPA, 2014).

El cultivo de papa representa un recurso genético valioso, compuesto especialmente por especies silvestres, formas primitivas o variedades nativas, cultivares sustituidos, nuevos cultivares (obtenidos por programas de mejoramiento) y otros tipos de materiales. La papa presenta 12 cromosomas, que se organizan en diferentes ploidías. Las papas de *S. tuberosum* grupo Phureja (Huamán y Spooner, 2002) son una especie diploide ( $2n=24$ ) y se distribuyen desde el occidente de Venezuela hasta el centro de Bolivia (Rodríguez, 2009). Algunos autores resaltan en el departamento de Nariño un centro de diversidad genética de las papas pertenecientes a este grupo. Los cultivares más conocidos y explotados comercialmente en Colombia de *S. tuberosum* grupo Phureja son morfotipos redondos amarillos de ciclo corto (110-120 días) y brotación en el momento de la cosecha (Huamán y Spooner, 2002). Estos morfotipos son comercializados bajo la denominación de papa criolla.

Colombia posee una colección central de papa que cuenta con 800 accesiones, dentro de la cual hay más de 100 accesiones de *S. tuberosum* grupo Phureja (colectadas en el

germoplasma silvestre, cultivos y nuevas variedades) caracterizadas por formas exóticas y colores llamativos. La Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia posee una copia de la colección de *S. tuberosum* grupo Phureja con la cual se han adelantado varias investigaciones en genética y fitomejoramiento. Dentro de estas investigaciones se han reconocido marcadores asociados con la resistencia a problemas importantes del cultivo (*Phytophthora infestans*, *Spongospora subterranea*, PYVV) y de caracteres asociados con calidad de procesamiento (Ñústez 2011). Considerando el lugar importante que la papa tiene en el consumo diario es interesante conocer el aporte en nutrientes que su consumo traería. Sin embargo, hasta la presente no se ha reportado el grado de variación del contenido nutricional del germoplasma colombiano de papa diploide *S. tuberosum* grupo Phureja.

El aporte nutricional en la papa está representado principalmente por el alto contenido de carbohidratos (principalmente almidón), alto contenido de proteína (si se compara con otros tubérculos) y bajo contenido de grasa (Camire, Kubow, & Donnelly, 2009). En micronutrientes presenta cantidades considerables de algunos minerales donde sobresale el potasio (K) principalmente, el fósforo (P), el magnesio (Mg), el hierro (Fe), el zinc (Zn) y Calcio (Ca). En algunas variedades nativas andinas se han reportado concentraciones de Fe, Zn y Ca hasta de 2,2; 1,6 y 109,3 mg/100 g en base seca, respectivamente (Andre et al., 2007; Burgos, Amoros, Morote, Stangoulis, & Bonierbale, 2007). Actualmente a nivel mundial se presentan problemas de deficiencia en Fe y Zn, siendo los genotipos con mayor concentración de estos minerales empleados en programas de biofortificación como una estrategia orientada a contribuir con la erradicación de las carencias por micronutrientes (CIP, 2011). En algunas regiones de Colombia hay deficiencia en la ingesta no sólo de Fe, Zn, como ocurre a nivel mundial, sino también la ingesta de Ca es deficiente (ENSIN, 2005). La identificación de genotipos con altos contenido de Fe, Zn y Ca y su incorporación a programas de mejoramiento para la selección de nuevos cultivares de papa podría ser una de las estrategias para ayudar a suplir esta deficiencia de estos micronutrientes. En la papa no sólo el contenido mineral llama la atención, también lo hace el contenido de compuestos de interés funcional, como la fibra dietaria y los compuestos fenólicos. Estos compuestos tienen efectos positivos sobre la salud humana y por lo tanto son altamente deseables en la dieta (Navarre, Goyer, & Shakya, 2009).

En la agricultura, a la hora de adoptar decisiones con respecto a las políticas y programas han predominado factores como la resistencia a las enfermedades y el rendimiento, más que el valor nutricional. Una tendencia reciente es la selección según el valor nutricional de los germoplasmas de cultivos alimenticios, como es el caso de la papa. Un enfoque moderno de la agricultura exige la necesidad de articularla con la nutrición, la salud humana y la mejora de los ingresos de los productores y sus familias. La papa hace parte del patrón alimentario de la población colombiana y puede por tanto desempeñar un rol importante para mejorar la seguridad alimentaria y nutricional. Esta tesis va en ese sentido: generar información sobre el contenido nutricional de tubérculos de papa (*S. tuberosum* grupo Phureja) que permita ligar el desarrollo de nuevos cultivares con las necesidades de nutrición de la población.

El valor nutricional de un alimento se puede agrupar en cuanto a su contenido de macronutrientes y micronutrientes. Para conocer el contenido de macronutrientes se realiza un estudio de la composición química del alimento donde las determinaciones más habituales son: humedad, proteína total, grasa bruta, cenizas, fibra dietaria total y carbohidratos asimilables. Este conjunto de análisis suele denominarse análisis proximal. En la determinación del análisis proximal suelen emplearse métodos oficiales de análisis como los de la Association of Analytical Chemists (AOAC) (Jiang, Tsao, Li, & Miao, 2014). Aunque la humedad no es un nutriente, su estimación es importante para mirar los niveles de otros componentes y los datos sobre dicho contenido permiten comparar los valores de los nutrientes sobre la base de una humedad semejante; es cuando se habla de comparaciones en base seca. De otro lado, la determinación de fibra dietaria total y cenizas se realiza con el propósito de calcular los carbohidratos asimilables y poder realizar el cálculo de la energía que provee el alimento que está representado en el contenido de proteína total, grasa total y carbohidratos asimilables.

En el análisis de micronutrientes se cuantifican los minerales y vitaminas. La determinación de minerales por lo general realiza la cuantificación individual de cada mineral (espectrometría de absorción, emisión atómica o fluorimetría) o múltiple de los minerales (espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente o espectrometría de masa acoplado inductivamente). El análisis de vitaminas se realiza por métodos espectrofotométricos o cromatográficos como la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). De otro lado, aunque no son considerados nutrientes, el estudio de los

compuestos fenólicos es de interés puesto que constituyen, junto a la fibra dietaria, el grupo de compuestos funcionales (componentes que ejercen efectos beneficiosos para la salud y reducen el riesgo de sufrir enfermedades) en la papa. La identidad y concentración de los compuestos fenólicos puede evaluarse por HPLC con detectores como el de arreglo de diodos.

Una de las características de los compuestos fenólicos es su capacidad antioxidante, operando así en contra los efectos perjudiciales de los productos de oxidación, que implican a especies reactivas de oxígeno (EROS) (Alam, Bristi, & Rafiquzzaman, 2013). La actividad antioxidante puede ser medida por métodos químicos como ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina-ácido-6-sulfónico)), DPPH (2,2-difenil-2-picrilhidrazilo) y FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power). Mediante estas medias se evalúa la capacidad de los compuestos fenólicos y otros antioxidantes para captar radicales libres.

En Colombia uno de los procesamientos más habituales de papa es la cocción. El proceso de cocción es necesario para mejorar la patabilidad y digestión del tubérculo. Los reportes en papa cocida son poco frecuentes pero más útiles que los reportes en papa cruda, debido a que es la forma real de consumo del alimento y reflejará su verdadero aporte nutricional ya que en el proceso de cocción hay cambios en la concentración de algunos nutrientes (Murniece et al., 2011).

Esta tesis tuvo como objetivo evaluar la composición nutricional y la actividad antioxidante de papas colombianas *Solanum Tuberosum* grupo Phureja en tubérculos de papa con cáscara sometidos a un proceso de cocción en agua hirviendo. Este documento está organizado en cuatro capítulos: El **primer capítulo** presenta el análisis proximal de 114 genotipos *S. tuberosum* grupo Phureja del germoplasma de Colombia y su comparación con seis de los cultivares comerciales más consumidos en el país. El **segundo capítulo** muestra el contenido mineral en genotipos del germoplasma de papa colombiano representado en 101 genotipos *S. tuberosum* grupo Phureja y seis cultivares comerciales de papa. Estos capítulos determinan el contenido de macronutrientes y de minerales identificando los genotipos de papa con mejor contenido de nutrientes, los cuales pueden ser promisorios para los programas de mejoramiento en papa teniendo en cuenta criterios de contenido nutricional. En el **tercer capítulo** se presenta información sobre la capacidad antioxidante, identificación y cuantificación de los ácidos hidroxicinámicos

(ácido clorogénico, ácido *neo*-clorogénico, ácido *cripto*-clorogénico y ácido cafeico) principales compuestos fenólicos en la papa) en cuatro cultivares comerciales de papa criolla (Criolla Colombia, Criolla Galeras, Criolla Guaneña y Criolla Paisa), tres clones avanzados y dos cultivares comerciales tetraploides (Diacol Capiro y Pastusa Suprema). Los clones avanzados analizados en el tercer capítulo fueron registrados y entregados como nuevos cultivares de papa en el departamento de Nariño para consumo en fresco o procesamiento en Julio del 2014: Criolla dorada (AC-04), Criolla SuaPa (AC-59) y Criolla Ocarina (AC-64). El **cuarto capítulo** presenta una discusión de las conclusiones de los primeros tres capítulos y las perspectivas del contenido y potencial nutricional del germoplasma de papa de *S. Phureja* de los tres capítulos anteriores.

# 1. Análisis proximal en genotipos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja

## Resumen

Colombia representa una zona importante de diversidad de las especies de papas *Solanum tuberosum* grupo Phureja. Sin embargo, existe poca información del contenido nutricional del germoplasma de papa de este grupo en Colombia, por lo cual se realizó un análisis proximal a tubérculos enteros cocidos de *S. tuberosum* grupo Phureja. Se analizaron 94 genotipos de la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (CCC) 13 cultivares nativos (CN) y siete clones avanzados (CA) del programa de mejoramiento de papa diploide de la Universidad Nacional de Colombia. Además, se emplearon como controles seis cultivares comerciales de papa: cuatro de *S. tuberosum* grupo Phureja (Criolla Colombia, Criolla Galeras, Criolla paisa y Criolla Guaneña) y dos de *S. tuberosum* subespecie *tuberosum* (Diacol Capiro y Pastusa Suprema). Los tubérculos fueron lavados, secados, cocinados y liofilizados. Se determinó la humedad, grasa, proteína, cenizas y fibra dietaria soluble e insoluble por los métodos oficiales de la AOAC. Los contenidos nutricionales para proteína, grasa, cenizas y fibra dietaria soluble e insoluble de los CCC y CN fueron más altos al compararse con los cultivares comerciales. Por ejemplo, mientras que la proteína en los cultivares comerciales fue máximo de 9,5 g/100 g base seca (BS), en la CCC se obtuvieron contenidos de hasta 17,2 g/100 g BS, y en la CN hasta 16,7 g/100 g BS. La fibra dietaria total en los cultivares comerciales fue máximo de 15,3 g/100 g BS, en la CCC se obtuvieron contenidos de hasta 27,1 g/100 g BS y en la CN de hasta 20,7 g/100 g BS. En el consumo de una porción de 110 g de papa cocida podría proporcionar a las recomendaciones de ingesta diaria: de proteína hasta 4,9% y de fibra dietaria total de hasta 22% para mujer y de carbohidratos totales hasta 7,9 para personas adultas, con un rango de edad de 19-50 años.

**Palabras clave:** *Solanum tuberosum* grupo Phureja, papa, análisis proximal, nutrición.

## 1.1 Introducción

La papa es un alimento ancestral andino y uno de los cultivos más consumidos en todo el mundo (Mosquera et al., 2013), es el cuarto producto agrícola de importancia después del arroz, el maíz y el trigo (Visser et al., 2009). En Colombia, la frecuencia de consumo de papa es de 54,5%, ocupando el cuarto lugar después del arroz, el aceite y el azúcar, con un consumo promedio de 110 g por día (ENSIN, 2005). Se estima que existen más de 5.000 variedades de papa en todo el mundo (Hawkes, 1990), donde la mayor diversidad de variedades nativas se encuentra en los Andes. Esta diversidad sugiere una variabilidad considerable en su composición nutricional (André et al., 2009). Entre las papas andinas, los genotipos pertenecientes a *Solanum tuberosum* grupo Phureja tienen una buena capacidad de cruzamiento con otros genotipos de papa y en consecuencia se han utilizado ampliamente en los programas de mejoramiento (Juyo, Gerena, y Mosquera, 2011). El grupo Phureja es diploide ( $2n = 24$ ) y se distribuye geográficamente desde el norte de Bolivia hasta el suroeste de Colombia (Estrada, 1996).

Los tubérculos de *S. tuberosum* grupo Phureja tienen alta variabilidad en la forma, que va desde esférica a ovoide y de colores que van del amarillo al púrpura, tanto en la pulpa como en la piel (Bonierbale et al., 2004). De toda esta variabilidad, en Colombia sobresalen los morfotipos redondos de cáscara y pulpa de color amarillo, denominados comúnmente papas criollas o papas amarillas.

Entre los principales atributos de la papa criolla se incluyen el buen sabor, inferiores costos de producción en comparación a la papa de año (papas tetraploides) y un alto potencial de exportación como producto exótico procesado. Las papas criollas presentan una excelente aceptación por parte del consumidor nacional e internacional en razón de sus características culinarias (sabor, color y harinosidad) (Rodríguez, Núñez & Estrada., 2009).

La papa criolla se cultiva entre los 2.000 a los 3.000 metros sobre el nivel del mar (msnm), siendo óptimas para su cultivo la altura comprendida entre los 2.300 a los 2.800 msnm. El mejor suelo para su cultivo es aquel que presenta una textura franca, con buen drenaje que evite el exceso de humedad en la raíz, valores de pH entre 5,2 a 5,9 (Mosquera, 2003 y Becerra et al., 2007) y buenos niveles de materia orgánica (entre 5,8 a 7,0 % de C orgánico) (Pérez, Rodríguez, & Gómez, 2008).

La Colección Central Colombiana de papa está compuesta aproximadamente por más de 800 accesiones de papa, con distintos niveles de ploidía. Esta colección está compuesta por las especies *S. tuberosum* subespecie *andigena*, *S. tuberosum* subespecie *tuberosum* (papa de año o guatas) y *S. tuberosum* grupo Phureja (papa diploide), entre otras, en forma de especies silvestres o variedades nativas, cultivares sustituidos, nuevos y otros tipos de materiales que pueden adaptarse a ambientes locales o regionales variados. Esta riqueza genética en papa en los Andes representa un papel importante en la seguridad alimentaria y en el mejoramiento del cultivo de papa por los fitomejoradores.

La Colección de trabajo papa diploide de la Universidad Nacional de Colombia se ha evaluado por sus características morfológicas (Ligarreto, 2007), precocidad, azúcares reductores, gravedad específica (Ñústez 2011) y resistencia a *Phytophthora infestans* (Juyó, Gerena, & Mosquera, 2011; Mosquera et al., 2013).

Actualmente los datos publicados en cuanto al grado de variación del contenido nutricional en el germoplasma de papa diploide colombiano son pocos, solo se ha caracterizado el contenido de proteína y herabilidad en tubérculos crudos (Caicedo, López, Torres, & Molano, 2011) y el contenido de almidón total y resistente (Guateque, 2014) pero no existen reportes del análisis proximal en el germoplasma de papa diploide. Existiendo una necesidad de conocer el contenido nutricional de algunos genotipos del germoplasma de papa. Esta información permitirá identificar aquellos genotipos contrastantes en algunos nutrientes (por ejemplo, proteína) o compuestos funcionales (por ejemplo, fibra dietaria soluble e insoluble) para su introducción en los programas de mejoramiento de papa teniendo en cuenta los criterios de calidad nutricional y seguridad alimentaria que buscan alimentos que proporcionen beneficios en la dieta y se reflejen en la salud, por medio de cultivares de alta producción y consumo como lo es la papa.

El objetivo de este estudio, por lo tanto, fue realizar el análisis proximal en 94 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja de la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (CCC), siete clones avanzados (CA), 13 cultivares de papas nativas (CN) de *S. tuberosum* grupo Phureja y clasificarlos en relación a los cuatro cultivares comerciales principales de *S. tuberosum* grupo Phureja (Criolla Colombia, Criolla Galeras, Criolla Guaneña, Criolla Paisa) y dos de *S. tuberosum* ssp. *tuberosum* (Diacol Capiro y Pastusa Suprema).

## 1.2 Materiales y métodos

### 1.2.1 Material Vegetal

Se estudiaron 94 genotipos de la CCC, trece cultivares de CN y siete CA del programa de mejoramiento de papa diploide de la Universidad Nacional de Colombia para el desarrollo de nuevos cultivares (Rodríguez, 2014) (**Anexo A**). Además, se estudiaron como control cuatro cultivares comerciales de papa diploide *S. tuberosum* grupo Phureja (Criolla Colombia, Criolla Guaneña, Criolla Paisa y Criolla Galeras) y dos cultivares comerciales de papa tetraploide *S. tuberosum* ssp. *tuberosum* (Diacol Capiro y Pastusa Suprema).

El material vegetal de la CCC es mantenido continuamente en condiciones de invernadero en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. El material de los CN fue recolectado en el departamento de Nariño por el grupo de mejoramiento del Proyecto San Nariño de la Universidad Nacional de Colombia en el año 2013.

Los tubérculos pertenecientes a la CCC y los cuatro cultivares comerciales de papa diploide fueron obtenidos de una siembra realizada en Facatativa, Cundinamarca, en la finca productora Splendor (2650 msnm, 4,0° 48,0' 53,0" norte y 74,0° 21,0' 19,0" oeste). Los tubérculos se sembraron en septiembre de 2012 y fueron cosechados en enero de 2013.

Los tubérculos de los CN se sembraron en el centro experimental agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia en Mosquera, Cundinamarca (2516 msnm, 4,0° 41,0' 29,5" norte y 74,0° 12,0' 39,4" oeste). Los tubérculos se sembraron en mayo de 2013 y fueron cosechados en septiembre de 2013.

Los tubérculos pertenecientes a los CA se cultivaron en Obonuco, Nariño Colombia (1,0° 11,0' norte y 77,0° 18,0' oeste y 2871 metros sobre el nivel del mar). Los tubérculos se sembraron en mayo de 2012 y fueron cosechados en septiembre de 2012.

Los experimentos tuvieron tres repeticiones biológicas. Cada unidad experimental consistió de tres tubérculos sembrados en línea. A las plantas se les realizaron todas las labores de cultivo necesarias, incluyendo los manejos fitosanitarios para garantizar el crecimiento y producción. Los tubérculos fueron cosechados en estado de madurez comercial y se almacenaron a 4°C máximo dos días mientras se llevó a cabo el procesamiento de todas las muestras.

Los tubérculos de los cultivares Diacol Capiro que es el cultivar con mayor demanda en nuestro país para procesamiento de papa (hojuela y bastones) (Ñuztes, 2011) y Pastusa Suprema un cultivar con buena demanda en el país para consumo en fresco o procesamiento por que presenta buena resistencia a *P. infestans* (Nuztes et al., 2006 y Ñuztes, 2011) se adquirieron en un supermercado en la ciudad de Bogotá en Junio del 2013.

## 1.2.2 Preparación de las muestras

Aproximadamente 20 tubérculos por replica se lavaron con agua destilada y se clasificaron en tres grupos de acuerdo con el tamaño, basado en el diámetro ecuatorial medido con un calibrador: richie < 3,9 cm (tamaño 1), primera 4,0 - 5,9 cm (tamaño 2) y cero > 6,0 cm (tamaño 3). Los tubérculos de papa son típicamente consumidos en Colombia después de un proceso de cocción (ENSIN, 2005). Por esta razón los tubérculos enteros sin pelar se cocinaron por inmersión en agua destilada hirviendo ( $91^{\circ}\text{C} \pm 0,2$ ) con diferentes proporciones peso del tubérculo y agua de acuerdo al tamaño del tubérculo (**Tabla 1-1**). Para determinar las condiciones de cocción de la **Tabla 1-1** se

realizaron ensayos preliminares para poner a punto el proceso de cocción. En estos ensayos previos las variables medidas fueron: dureza sensorial, dureza instrumental y temperatura en el punto crítico (**Anexo B**). En estos ensayos se evaluaron tres tamaños de tubérculo: richie < 3,9 cm (tamaño1), primera 4,0 - 5,9 cm (tamaño 2) y cero > 6,0 cm (tamaño 3), cuatro tiempos de cocción: 15,0, 20,0, 25,0 y 30,0 min y tres proporciones papa: agua (g/ml): 1:2, 1:3 y 1:4.

**Tabla 1-1:** Parámetros de cocción de los tubérculos de papa

<b>Tamaño (cm)</b>	<b>Tubérculo:agua (g:mL)</b>	<b>Tiempo de cocción (min)</b>
Cero > 6,0	1:3	30
Primera 4,0 - 5,9	1:4	25
Richie 3,0 - 3,9	1:3	20

Después del proceso de cocción los tubérculos se enfriaron en un baño de hielo durante 5 min y se dejaron secar a temperatura ambiente. Se tomó un tercio de la muestra homogenizada y cuarteada para determinar el contenido de agua y el material restante se cortó en rebanadas, se congeló en nitrógeno líquido y se almacenó a -80 °C. El material congelado se liofilizó y se molió hasta pasar por una malla de 0,2 mm. Las muestras se guardaron en bolsas de polietileno y se almacenaron en un desecador a temperatura ambiente hasta su uso, protegiéndolas de la luz.

### 1.2.3 Análisis proximal

El análisis proximal se hizo de acuerdo con los métodos oficiales de la Association of Analytical Chemists (AOAC). El contenido de agua se determinó en estufa de vacío a 70 °C (AOAC 931.04). El contenido de grasa se midió basándose en el método Goldfish empleando como disolvente de extracción éter de petróleo (AOAC 963.15). El contenido de proteína se evaluó basado en el método Kjeldahl (AOAC 970.22), utilizando un factor de conversión de 6,25. El contenido de cenizas se determinó por el método gravimétrico (calcinación a 550 °C) (AOAC 972.15). Los contenidos de fibra dietaria soluble (FDS) e insoluble (FDI) se estimaron por el método enzimático-gravimétrico (AOAC 985.29). El

contenido de hidratos de carbono digestibles se calculó restando la suma del contenido de ceniza, grasa, proteína y el contenido de FDS y FDI de 100. El contenido de agua se expresó sólo en base húmeda (BH) y los demás contenidos se expresaron como g/100 g de papa cocida en base seca (BS). Además, para efectuar algunas comparaciones con la bibliografía y el cálculo de aporte de ingesta dietética recomendada de algunos nutrientes se realizó la conversión de los valores de BS a BH. El contenido de energía (E, kcal/100g BH) se calculó por la fórmula:  $E = [(g \text{ grasa}/100 \text{ g BH}) \times (9 \text{ kcal/g})] + [(g \text{ proteína}/100 \text{ g BH}) \times (4 \text{ kcal/g})] + [(g \text{ de hidratos de carbono}/100 \text{ g BH}) \times (4 \text{ kcal/g})]$ .

#### **1.2.4 Aporte a las ingesta alimentarias de referencia de nutrientes**

Teniendo en cuenta una porción de 110 g de papa/día de acuerdo a la resolución colombiana 033 del 2011 se calculó la contribución de all rango aceptable de distribución de macronutrientes (**AMDR**) basados en una dieta de 2000 Kcal/ día, tomando un porcentaje para proteína del 14%, carbohidratos del 58%. Para fibra dietaria total se empleó la Ingesta Adecuada (AI, por su sigla en inglés) el cual es de 28 g/día para 2000 Kcal/ día.

#### **1.2.5 Análisis estadístico**

Los datos incluyen el análisis proximal medido en mínimo tres muestras. Los resultados se expresaron como el promedio y su desviación estándar. Los datos obtenidos se analizaron por medio de análisis multivariado de componentes principales y de clusters. Se calcularon las correlaciones de Pearson entre las variables ( $p \leq 0,05$ ). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando los programas Matlab versión R2009b (Mathworks®, Natick, Massachusetts, USA) y spadv56 (Decisia©, Aubagne, Francia).

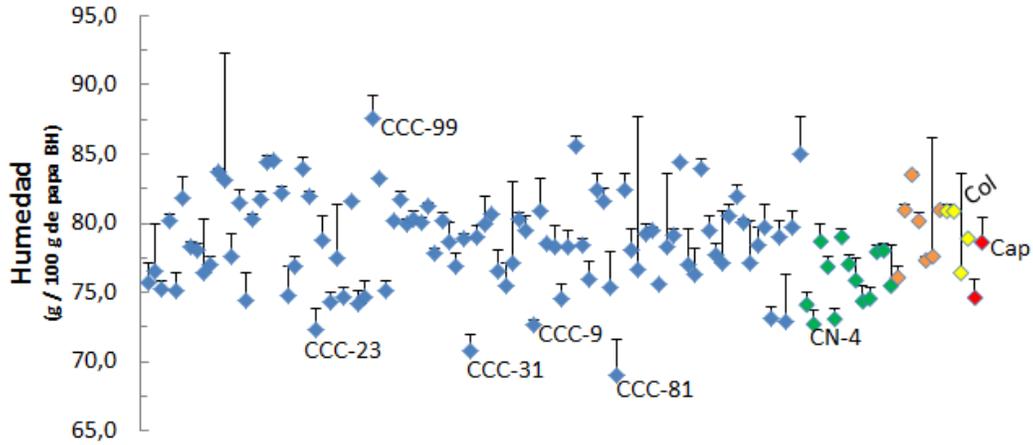
## 1.3 Resultados y análisis

En las figuras presentadas en este capítulo los datos se organizaron en orden ascendente por el contenido de proteína para cada uno de los grupos de genotipos de la CCC, CN, CA y cultivares comerciales diploides y tetraploides. Esta organización se dio para mostrar fácilmente cuáles genotipos dentro de cada grupo (CCC, CN y CA) tienen el mayor potencial de aporte de este nutriente, deficiente en la población colombiana. El orden en el que se organizaron los genotipos para su contenido de proteína se mantuvo para las otras variables medidas. Así, el contenido de humedad (**Figura 1-1**) pierde el orden ascendente aunque se ve un orden ascendente en el contenido de proteína (**Figura 1-2**). Esto da un claro ejemplo del hecho que genotipos con altos contenido de proteína no necesariamente tienen altos niveles de los otros nutrientes estudiados. A continuación se describen los resultados de los niveles de los nutrientes evaluados y se discuten estos resultados.

### 1.3.1 Contenido de humedad

Los genotipos de papa cocida con cáscara presentaron una amplia variabilidad para el contenido de humedad con un rango entre 69,0 g/100 g en BH (CCC-81) y 87,6 g/100 g BH (CCC-99) (**Figura 1-1**), indicando una materia seca de 31,0 a 12,4 g/100 g BH.

**Figura 1-1:** Contenido de humedad en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.



Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), amarillo para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

Los genotipos pertenecientes a los CN presentaron el promedio más alto para materia seca ( $100 - \text{humedad}$ ) ( $24,0 \pm 2,1$  g/100 g BH), seguido de los cultivares comerciales tetraploides ( $23,4 \pm 1,4$  g/100 g BH). El promedio general de materia seca de los tubérculos cocidos evaluados de la COL fue de  $21,3 \pm 3,4$  g/100 g BH (**Tabla 1-2**); este es un valor cercano a lo reportado por Ñustez (2011) de 21,9 g/100 g BH al evaluar la materia seca en la Colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia de Phureja en tubérculos crudos en cuatro ambientes. Aunque en promedio la CCC tuvo el valor más bajo de materia seca en comparación a los CN y cultivares comerciales tetraploides, el genotipo CCC-81 tuvo el contenido más alto de todo el conjunto estudiado (31,0 g/100 g BH).

Una de las características más destacadas a nivel sensorial de la papa criolla es la textura harinosa (Rivera et al, 2006 y Rivera et al., 2011). La textura harinosa en papas cocinadas hace referencia a una percepción seca y granulosa en la boca en contraste con la textura cerosa que tiene una percepción húmeda y pegajosa (Gupta, Luthra, & Singh, 2014; van Dijk et al., 2002; van Marle et al., 1997). La textura en papa es una

característica compleja que está relacionada con varios factores como el contenido de materia seca, gravedad específica, el contenido de almidón (Jansky, 2008) (Hansen et al., 2010) y el contenido de polisacáridos no amiláceos (Kita, 2002). Se ha relacionado un contenido alto de materia seca con la textura harinosa (van Dijk et al., 2002), a nivel industrial se seleccionan cultivares de papa con el criterio de altos contenidos de materia seca y bajas concentraciones de azúcares reductores. Otro factor importante para explicar las variaciones en la textura de la papa son las propiedades del almidón (Singh, Kaur, & Rao, 2009), las papas que presentan una textura harinosa tienen altos contenidos de amilopectina y un tamaño grande de granulo ( $>50 \mu\text{m}$ ) en comparación con las papas de textura cerosa (Karlsson, Leeman, Björck, & Eliasson, 2007; Kaur, Singh, Singh Sodhi, & Singh Gujral, 2002). En este estudio los cinco genotipos que presentaron mayor contenido de materia seca en papa cocida fueron: CCC-81 (31,0 g/100 g BH), CCC-31 (29,2 g/100 g BH), CCC-23 (27,7 g/100 g BH), CCC-9 (27,3 g/100 g BH) y CN-4 (27,3 g/100 g BH), lo que convierte a estos genotipos en candidatos importantes al momento de pensar en variedades mejoradas con una textura harinosa y un buen contenido de materia seca.

**Tabla 1-2:** Promedios del análisis proximal en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* de papa cocida.

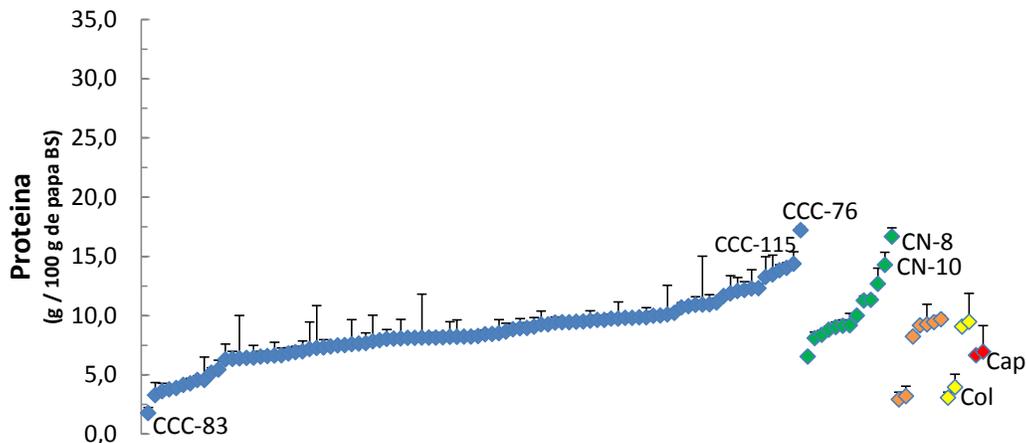
	n	MS <sup>1</sup>	Proteína <sup>2</sup>	Grasa <sup>2</sup>	Cenizas <sup>2</sup>	FDI <sup>2</sup>	FDS <sup>2</sup>	FDT <sup>2</sup>	CHS <sup>2</sup>
<b>CCC</b>	94	21,3 ± 3,4	8,6 ± 2,6	0,3 ± 0,1	4,9 ± 0,8	12,6 ± 3,0	4,1 ± 1,2	16,7 ± 0,4	69,6 ± 5,0
<b>CN</b>	13	24,0 ± 2,1	10,4 ± 2,8	0,4 ± 0,2	5,1 ± 0,6	11,0 ± 2,2	4,6 ± 1,1	15,6 ± 0,5	68,4 ± 5,1
<b>CA</b>	7	20,5 ± 2,6	7,4 ± 3,0	0,4 ± 0,2	4,8 ± 0,3	11,2 ± 2,6	2,8 ± 1,6	14,0 ± 0,2	73,7 ± 5,6
<b>Comerciales diploides</b> <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja	4	20,7 ± 2,1	6,4 ± 3,3	0,2 ± 0,0	4,8 ± 0,5	11,2 ± 0,9	3,6 ± 0,9	14,8 ± 0,3	73,7 ± 4,0
<b>Comerciales Tetraploides</b> <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i>	2	23,4 ± 1,4	6,8 ± 0,1	0,2 ± 0,0	2,8 ± 0,3	7,5 ± 0,8	2,9 ± 2,1	10,4 ± 0,2	79,8 ± 1,2
<b>Valor menor</b>		12,4	1,8	0,1	2,3	6,3	1,0	9,0	53,6
<b>Valor mayor</b>		31,0	17,2	0,8	6,9	20,9	6,6	27,1	84,6

Donde **n** indica el número de genotipos en cada uno de los grupos evaluados de papa. Colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**); Cultivares nativos (**CN**); Clones avanzados (**CA**).<sup>1</sup> expresado en g/100 g de papa en base húmeda.<sup>2</sup> expresado en g/100 g de papa en base seca. **MS**: materia seca **FDI**: Fibra dietaria insoluble, **FDS**: Fibra dietaria soluble, **FDT**: Fibra dietaria total y **CHS**: carbohidratos

### 1.3.2 Contenido de proteína

El contenido de proteína presentó un rango de 1,8 g/100 g BS (CCC-83) a 17,2 g/100g BS (CCC-76). El contenido de CCC-76 es 4,3 veces mayor en comparación con Criolla Colombia (4,0 g/100 g BS) y 2,5 veces mayor que Diacol Capiro (7,0 g/100 g BS) (**Figura 1-2**). Los cinco genotipos que presentaron mayores contenidos de proteína fueron: CCC-76 (17,2 g/100g BS), CN-8 (16,7 g/100 g BS), CCC-122 (14,4 g/100 g BS), CN-10(14,3 g/100 g BS) y CCC-115(14,4 g/100 g BS). Los promedios del valor de proteína en base seca para los genotipos pertenecientes a la CCC ( $8,6 \pm 2,6$  g/100 g BH), CA ( $7,4 \pm 3,0$  g/100 g BH) y CN ( $10,4 \pm 2,8$  g/100 g BH) son superiores que los cultivares comerciales diploides ( $6,4 \pm 3,3$  g/100 g BH) y tetraploides ( $6,8 \pm 0,1$  g/100 g BH) (**Tabla 1-2**).

**Figura 1-2:** Contenido de proteína en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.



Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), naranja para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

Los 114 genotipos (CCC, CN y CA) y los seis cultivares comerciales de papa presentaron una variación mayor en el contenido de proteína (1,8 a 17,2 g/100 g BS) en comparación a lo reportado en tres cultivares canadienses (AC Stempede Russet, Russet Burbank and Karnico) de papa cruda (5,4 a 10,6 g/100 g BS) (Liu, Tarn, Lynch, y Skjodt, 2007).

Cuando el contenido de proteínas en todos los genotipos evaluados (incluidos los controles) se expresó en base húmeda la variación estuvo entre 0,4 a 4,1 g/100 g BH, valores que están dentro de lo reportado para 41 variedades (*S. tuberosum* ssp *tuberosum* y *S. tuberosum* ssp *andigenum*) de papa cruda de 0,9 g/100 g BH (Jiménez et al., 2009), a 4,2 g/100 g BH (Ritter et al., 2008). En base húmeda, el contenido de proteína encontrado en esta tesis tuvo un mayor intervalo de variación que el reportado en papas andinas (Collareja, Runa, Churqueña, Señorita, Imilla Colorada, Imilla Negra y Revolución) cultivadas en Argentina de 0,8 a 2,5 g/100 g BH (Jiménez, Rossi, & Sammán, 2009) y en papas cultivadas en España (*S. tuberosum* ssp *tuberosum*: Boralla, Mora, Palmera largeteada y Peluca blanca; *S. tuberosum* ssp *andigenum*: Bonita, Bonita negra, Colorada de бага y Terrenta; *Solanum x Chaucha*: negra) de 1,5 a 2,4 g/100 g BH (Galdón et al., 2012).

La evaluación de la calidad nutricional de las proteínas de un alimento se debe establecer el contenido de aminoácidos esenciales por métodos químicos a partir de la composición y el contenido de aminoácidos y su digestibilidad. Actualmente el método de referencia adoptado internacionalmente para evaluar la calidad nutricional relativa de diferentes fuentes de proteínas es el puntaje de aminoácidos o score corregido por digestibilidad proteica (PDCAAS), en Tabla 1-3 se puede apreciar algunos valores de PDCAAS para algunos alimentos (Suarez, M et al., 2006), donde se observa los alimentos de origen vegetal como leche y carne presentan los valores más altos de PDCAAS lo que indica estos alimentos con muy buena calidad de proteína. Al compararse la papa con alimentos de origen animal se observa valores inferiores ya que contiene bajos niveles de aminoácidos que contienen azufre (metionina y cisteína) (Bártová, V., et al, 2015). Es de resaltar que la papa presenta valores mayores que otros alimentos de origen vegetal, como la yuca. La digestibilidad de las proteínas de la papa es buena comparada con la de otras de origen vegetal, ya que posee un bajo contenido de fitatos.

**Tabla 1-3:** Calidad de proteína de algunos alimentos.

<b>Alimento</b>	<b>% score</b>	<b>%PDCAAS</b>
Queso	100	95,0
Carne de vaca	100	94,0
Garbanzo	100	78,0
Soja grano	100	78,0
Arveja	95,2	74,2
Papa	85,0	70,5
Harina de avena	66,9	56,1

El contenido de proteínas en papa y la calidad de la mismas está probablemente influenciado principalmente por el genotipo (Galdón et al. 2010), aunque las razones de esta variabilidad genotípica todavía no están claras.

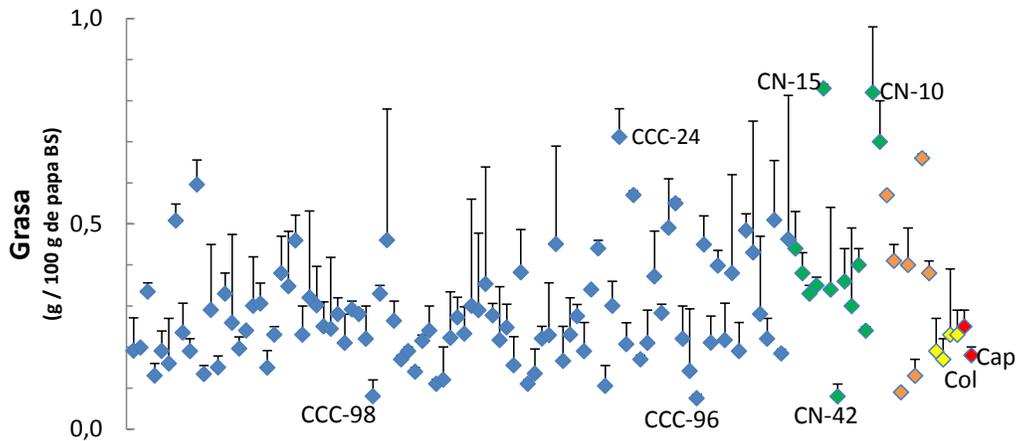
Teniendo en cuenta los valores encontrados para el contenido de proteína en papa cocida con cáscara de algunos genotipos del germoplasma Colombiano (CCC-76, CN-8, CCC-122, CN-10 y CCC-115) son mayores que el contenido de proteína de los actuales cultivares comerciales de papa diploide y los dos cultivares tetraploides más consumidos y producidos en el país, estos genotipos pueden ser promisorios para programas de mejoramiento que busque papas con mejor contenido de proteína.

### 1.3.3 Contenido de grasa total

El contenido de grasa total en los genotipos de papa evaluados en esta investigación (**Figura 1-3** y **Tabla 1-2**) estuvo entre 0,1 hasta 0,8 g/100 g BS (4,0 veces mayor que Criolla Colombia y Diacol Capiro). Si la grasa se expresa en base húmeda el intervalo de variación estuvo entre 0,02 a 0,2 g/100 g BH. Un total de 15 genotipos tuvieron el menor contenido de grasa total (0,1 g/100 BS). Estos genotipos pertenecieron a la CCC (12 genotipos), CN (un genotipo) y CA (dos genotipos). En cambio los genotipos con

mayores contenidos de grasa fueron CN-10 y CN-15 (ambos 0,8 g/100 g BS). Los contenidos para grasa total encontrados en esta investigación presentan un rango más amplio a lo reportado por otros autores en papa cruda: en papas andinas (Venturana, Roja Ayacuchana, Antañita, Wankita, Puca Lliclla, Pallay Poncho, Chucmarina, Serranita, Colparina, Puneñita y Maria Bonita) de 0,1 a 0,4 g/100 g BS (CIP, 2012) y en variedades cultivadas en Argentina (Collareja, Runa, Churqueña, Señorita, Imilla Colorada, Imilla Negra y Revolución) de 0,0 a 0,5 g/100 g BH (Jiménez et al., 2009). El aporte de lípidos de la papa es bajo, por lo que el aporte energético de estos compuestos en la dieta es despreciable (Camire et al., 2009; Kärenlampi & White, 2009; Zaheer & Akhtar, 2014). Los procesos de cocción en agua hirviendo (como se realizó en este estudio) o en vapor mantienen un aporte calórico bajo de lípidos.

**Figura 1-3:** Contenido de grasa total en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.



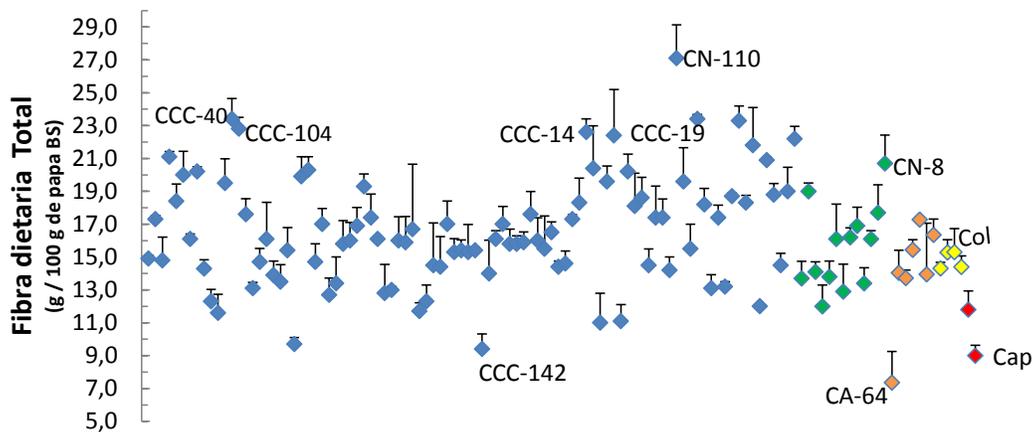
Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), naranja para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

### 1.3.4 Contenido de fibra dietaria total, fibra dietaria soluble e insoluble

La fibra dietaria total (FDT), suma de la fibra dietaria soluble (FDS) y fibra dietaria insoluble (FDI), presentó un rango de 9,0 a 27,1 g/100 g BS (**Figura 1-4**), que en base húmeda corresponde a 1,9 a 7,0 g/100 g BH. El intervalo hallado en base húmeda de papas cocida con cáscara fue más amplio a lo que se ha reportado en papas crudas (*S. tuberosum* ssp. *tuberosum* y *S. tuberosum* ssp. *andigena*) (1,9 - 3,3 g/100 g BH) (Galdón et al., 2012; Jiménez et al., 2009). Al comparar los valores de fibra dietaria total en papa cocida reportado en este estudio es mayor que en yuca cocida (2,7 g/100 g BH) (ICBF, 2005).

Se ha informado que la piel de la papa contiene FDT considerablemente más que la pulpa y que los tratamientos de cocción aumentan el contenido de FDI (Mullin y Smith, 1991; Reistad y Hagen, 1986).

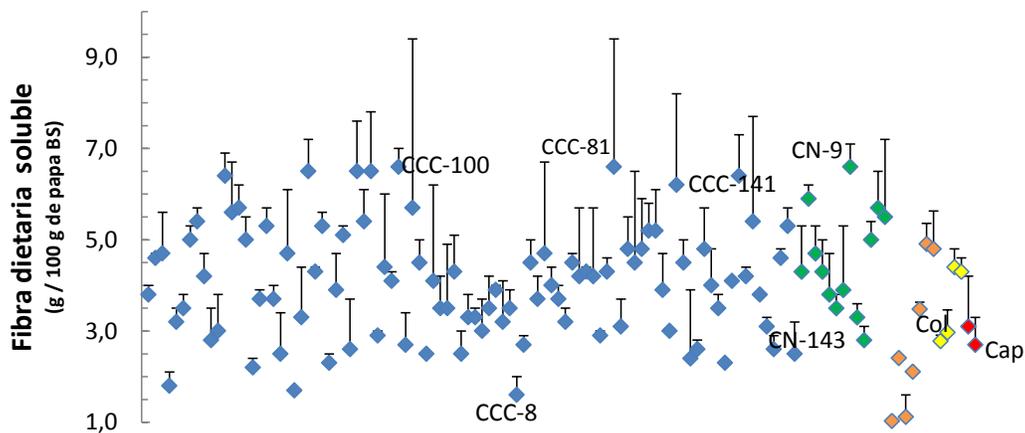
**Figura 1-4:** Contenido de fibra dietaria total en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.



Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), naranja para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

El contenido de FDS varió entre 1,0 g/100 g BS en CA-64 a 6,6 g/100 g BS en CCC-81, CCC-100 y CN-9. El contenido de FDS en Criolla Colombia fue de 3,0 g/100 g BS y en Diacol Capiro de 2,7 g/100 g BS (**Figura 1-5**). El contenido de FDS de los genotipos CCC-81, CCC-100 y CN-9 representó hasta 2,2 veces mayor en comparación con Criolla Colombia y 2,4 veces mayor en comparación con Diacol Capiro. Los promedios de los genotipos pertenecientes a COL ( $4,1 \pm 1,2$  g/100 g BS) y CN ( $4,6 \pm 1,1$  g/100 g BS) son mayores que el promedio de los genotipos de los CA ( $2,8 \pm 1,6$  g/100 g BS) y de los cultivares comerciales diploides ( $3,6 \pm 0,9$  g/100 g BS) y tetraploides ( $2,9 \pm 2,1$  g/100 g BS) (**Tabla 1-2**).

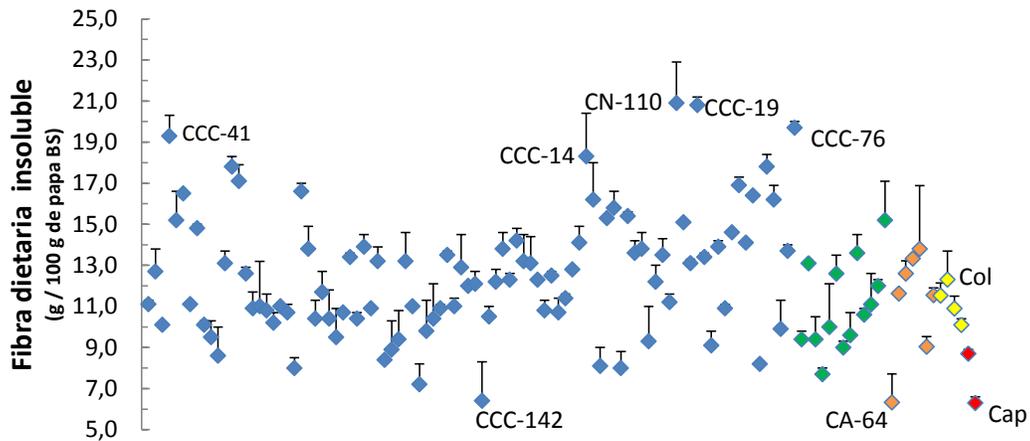
**Figura 1-5:** Contenido de fibra dietaria soluble en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.



Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), naranja para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales tetraploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

El contenido de FDI varió de 6,3 g/100 g BS en Diacol Capiro a 20,9 g/100 g BS en CCC-110 (1,7 veces el cambio en comparación con Criolla Colombia con 12,3 g/100 g BS) (**Figura 1-6**). Los cultivares comerciales tetraploides presentaron casi un 31% menos de FDI al compararse con el contenido de los genotipos de la CCC, CN, CA y cultivares comerciales diploides (**Tabla 1-2**).

**Figura 1-6:** Contenido de fibra dietaria insoluble en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Pastusa Suprema) de papa cocida.



Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), naranja para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

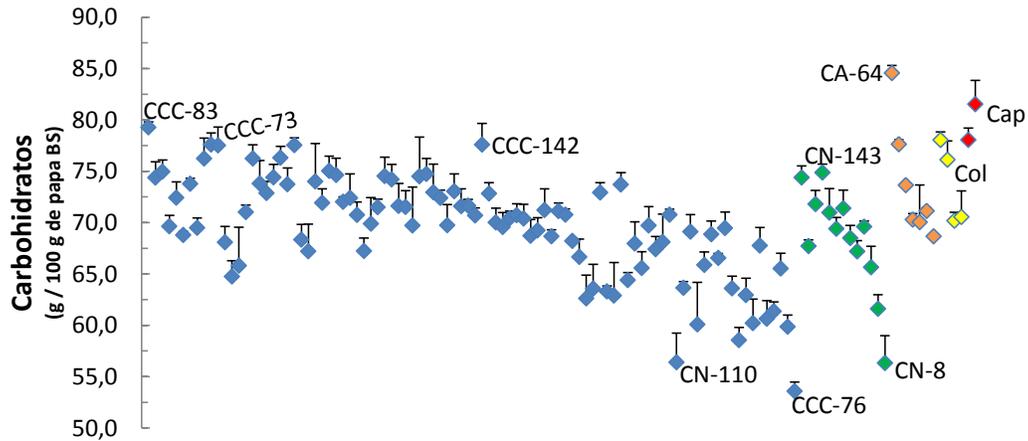
Los contenidos relativamente altos de FDS y FDI en algunos de los genotipos de papa son de interés, ya que la FDS tiene efectos positivos para la salud como por ejemplo, reducción de los niveles de colesterol en la sangre, retarda la absorción de glucosa (Laerke, Meyer, Kaack, y Larsen, 2007) y controla el metabolismo de lípidos (Espinal-Ruiz, Parada-Alfonso, Restrepo-Sánchez, & Narváez-Cuenca, 2014; Espinal-Ruiz, Parada-Alfonso, Restrepo-Sánchez, Narváez-Cuenca, & McClements, 2014) y la FDI tiene capacidad de absorción de agua y propiedades en la regulación intestinal como reducción de la presión en el colon y del tiempo de tránsito intestinal (Oh, Bae, & Lee, 2014).

### 1.3.5 Contenido de carbohidratos digeribles

El contenido de carbohidratos (**Figura 1-7**) estuvo entre 53,6 g/100 g BS (CCC-76) a 84,6 g/100 g BS (CA- 64). En papas nativas andinas (Venturana, Roja Ayacuchana, Antañita, Wankita, Puca Lliclla, Pallay Poncho, Chucmarina, Serranita, Colparina, Puneñita y Maria Bonita) se han reportado valores de 80,6 a 84,1 g/100 g BS (CIP, 2012). De manera interesante se encontró que los bajos niveles de carbohidratos encontrados en algunos genotipos están en relación con altos contenidos de proteína, como fue el caso del CCC-76 (con un contenido relativo bajo de carbohidratos: 53,6 g/100 g BS), donde el contenido de proteína fue de 17,2 g/100 g BS. El promedio del contenido de carbohidratos de los cultivares tetraploides ( $79,8 \pm 1,2$  g/100 g BS) fue mayor que los promedios de los otros grupos de genotipos evaluados: CCC ( $69,6 \pm 5,0$  g/100 g BS), CN ( $68,4 \pm 5,1$  g/100 g BS), CA ( $73,7 \pm 5,6$  g/100 g BS) y los cultivares comerciales diploides ( $73,7 \pm 4,0$  g/100 g BS) (**Tabla 2-2**).

El rango del contenido de carbohidratos de los todos los genotipos de papa cocida con cáscara evaluados expresado en base húmeda varió entre 8,1 a 20,9 g/100 g BH, donde algunos valores están por debajo del rango reportado en papas andinas crudas (de 12,2 a 22,6 g/100 g BH) (Jiménez et al., 2009).

**Figura 1-7:** Contenido de carbohidratos digestibles en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Pastusa Suprema) de papa cocida.



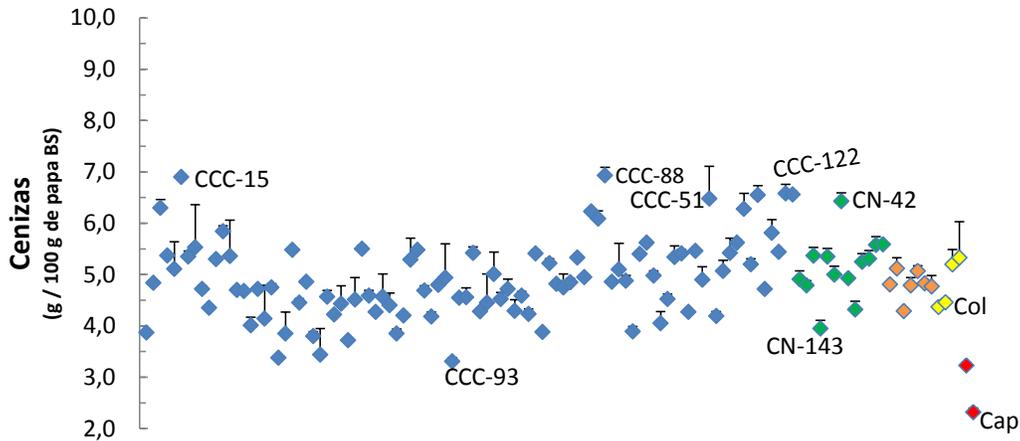
Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), amarillo para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

### 1.3.6 Contenido de cenizas

Los genotipos CCC-88 y CCC-15 presentaron el mayor contenido de cenizas (ambos con un valor de 6,9 g/100 g BS), mientras que el cultivar Diacol Capiro presentó el contenido más bajo (2,3 g/100 g BS) (**Figura 1-8**). El contenido de cenizas de CCC-88 y CCC-15 representa 1,5 veces de incremento en comparación con Criolla Colombia (4,5 g/100 g BS). El contenido de cenizas de todos los genotipos incluyendo los controles, cuando se expresó en base húmeda (0,5-1,7 g/100 g BH) es comparable al valor reportado en papa cocida en agua (0,9 g/100 g BH) (Camire et al., 2009) y en papas andinas crudas (0,8-1,7 g/100 BH) (Jiménez et al., 2009). El contenido de cenizas está relacionado con el contenido mineral, lo que indica que en algunos genotipos diploides de papa puede haber mayor concentración de minerales. Aunque no se hizo discriminación entre corteza y pulpa del tubérculo se ha reportado que la mayor concentración de minerales en el

tubérculo se encuentra en la cáscara (Galdón et al., 2012; Rivero, Hernández, Rodríguez, Martín, & Romero, 2003).

**Figura 1-8:** Contenido de cenizas en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Pastusa Suprema) de papa cocida.



Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), amarillo para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

### 1.3.7 Aporte de calorías

El aporte de calorías en base seca de todos los genotipos de papa evaluados va desde 38,9 a 94,0 Kca/100 g BH. El grupo de las papas comerciales tetraploides ( $348,4 \pm 5,1$  Kcal/100 g BS) tuvo un promedio mayor que los genotipos de la CCC, los CN, los CA y cultivares comerciales diploides en el aporte energético ya que presentan un contenido más alto de carbohidratos, que está representado principalmente por el contenido de almidón. Dentro del grupo de vegetales fuente de almidón se ubican además de la papa, la yuca (153 kcal/100 g BH), arracacha amarilla (110 kcal/100 g BH) y el plátano (no disponible) (Tabla de composición de alimentos colombianos, 2005) lo que ubica la papa con el menor aporte de calorías dentro de este grupo.

### 1.3.8 Contribución a las Ingestas Alimentarias de nutrientes

En general, como se observa en la **Tabla 1-3** los genotipos CCC y CN tuvieron un mayor porcentaje de contribución a los rangos aceptable de distribución de macronutrientes para proteína y FDT que los cultivares comerciales diploides y tetraploides.

Los genotipos CCC-115 y CN-8 pueden contribuir hasta 4,9% en una persona adulta para proteína. Estos porcentajes representan 1,4 veces de incremento en el aporte respecto al de los cultivares comerciales diploides (3,4%) y 1,8 veces de incremento comparado con los cultivares tetraploides (2,7%) de acuerdo a un AMDR de proteína del 14% sobre la ingesta de 2000 Kcal/día. Estos valores indican que algunos genotipos del germoplasma colombiano de papa diploide hay genotipos que superan el porcentaje de adecuación que los actuales cultivares comercializados de papa criolla, el cultivar más consumido en el país (Pastusa suprema) y el que es empleado en productos a nivel industrial (Diacol Capiro). Los genotipos de papa con mayor contenido de proteína podrían ayudar en parte los problemas de deficiencia de proteína en país (36,5%) (ENSIN, 2005) ya que la proteína de la papa tiene un buen valor biológico y un buen nivel de puntuación de aminoácidos esenciales dentro del grupo alimentos de origen vegetal (tubérculos y raíces).

Los genotipos de la CCC tuvieron el más alto porcentaje de contribución a los requerimientos de ingesta adecuada para FDT, sobresaliendo los genotipos CCC-81 (27,3%), CCC-27 (22,0%) y CCC-14 (21,3%), en comparación con Criolla Guaneña (14,2%) y Pastusa Suprema (11,8%).

**Tabla 1-4.** Porcentaje de contribución a la de acuerdo a las recomendaciones de la ingesta recomendada para adultos, basados en un servicio (110 g en base húmeda) de papa.

		Contenido (110 g papa)		Requerimientos (g/día)	%	
		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo
				Proteína*		
	CN	2,0	4,5	2,7	4,9	

	CA	0,7	2,3		1,0	3,3
	CCD	0,6	2,4		1,0	3,4
	CCT	1,6	1,9		2,3	2,7
CHS*	CCC	8,9	23,0	290	3,1	7,9
	CN	14,9	20,3		5,1	7,3
	CA	13,4	22,2		5,0	7,7
	CCD	16,0	18,2		5,5	6,3
	CCT	19,2	21,8		6,6	7,5
FDT**	CCC	2,1	6,2	28	7,4	22,0
	CN	3,1	5,7		10,9	20,4
	CA	1,9	4,3		6,9	15,4
	CCD	3,0	3,3		10,7	14,2
	CCT	2,1	3,3		7,6	11,8

\* Rango aceptable de distribución de macronutrientes **AMDR** \*\*ingesta adecuada (IA). Colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), Cultivares nativos (**CN**), Clones avanzados (**CA**), Cultivos comerciales diploides (**CCD**) y Cultivos comerciales tetraploides (**CCT**). Carbohidratos disponibles (**CHS**) y fibra dietaria total (**FDT**).

### 1.3.9 Análisis multivariado para el contenido de macronutrientes

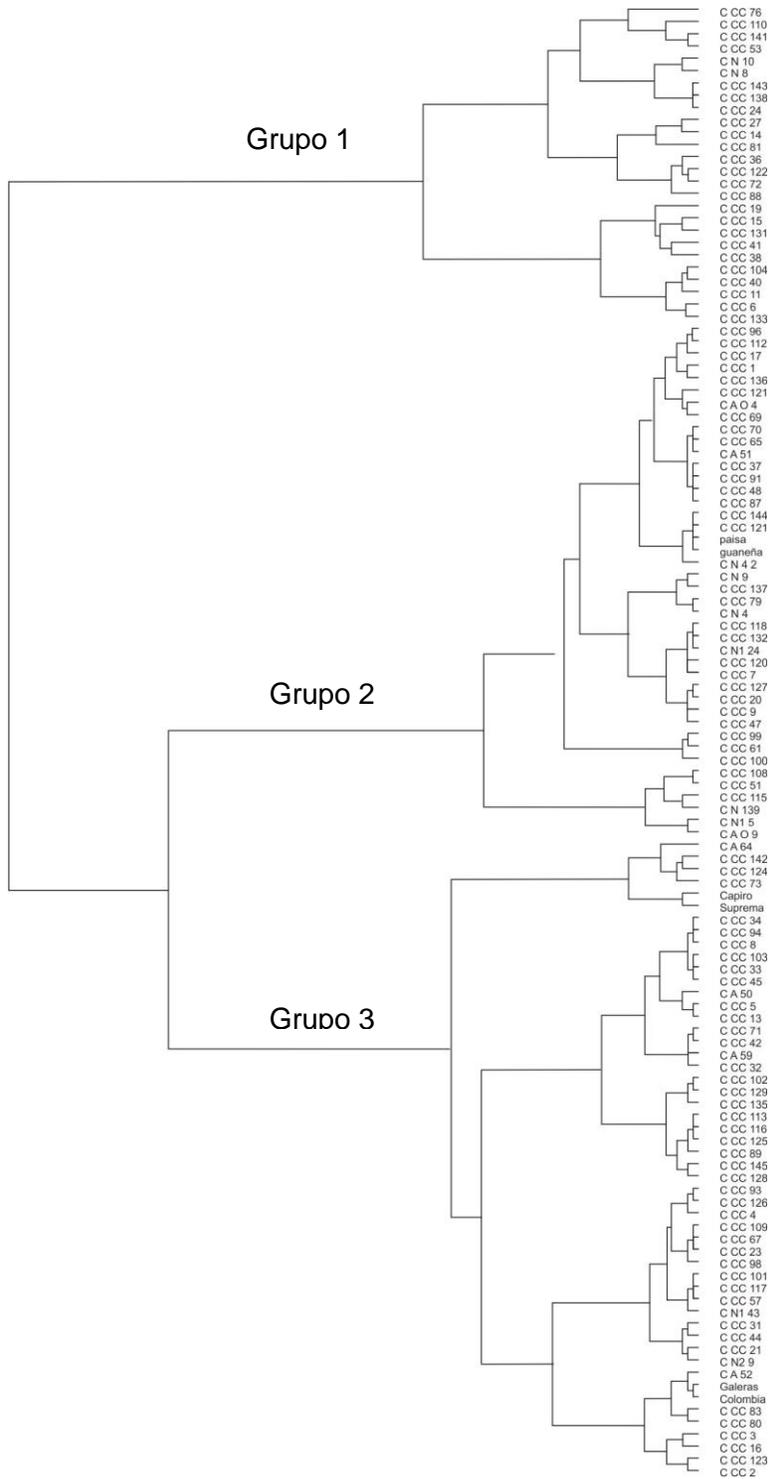
El análisis por cluster permitió distinguir tres grupos (**Figura1-10**). En el **grupo uno** se congregaron 23 genotipos pertenecientes a la CCC y dos genotipos de los CN. Los 25 genotipos del grupo uno son los que presentaron mayor contenido de proteína, cenizas, FDI y FDT. En el **grupo dos** se ubicaron 43 genotipos correspondientes a: 29 genotipos de la CCC, nueve genotipos de los CN, tres genotipos de los CA y dos genotipos comerciales diploides (Criolla Paisa y Criolla Guaneña). El grupo dos presenta valores intermedios para proteína, FDI y FDT, pero mayor contenido de materia seca y carbohidratos que el grupo uno. En el **grupo tres** se agruparon 52 genotipos: 42 CCC, dos CN, cuatro CA, dos comerciales diploides (Criolla Colombia y Criolla Galeras) y los cultivares tetraploides (Diacol Capiro y Pastusa suprema). Estos genotipos se caracterizan por valores altos de materia seca, carbohidratos y aporte calórico alto a la dieta. Los genotipos clasificados dentro del grupo uno son los candidatos promisorios para nuevos programas de mejoramiento de papa buscando genotipos con mayor contenido de proteína y compuestos funcionales como la fibra dietaria.

Luego se realizó un análisis de componentes principales, donde se seleccionaron tres componentes bajo el criterio que tuvieran eigenvalores mayores o iguales que 1,0 (**anexo**

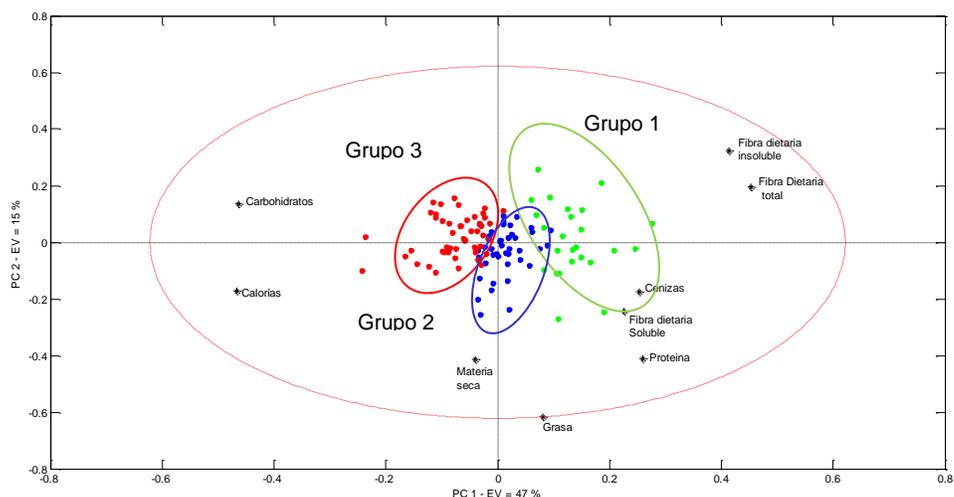
E). Componentes con eigenvalores mayores o iguales a uno son los que tiene mayor varianza y explican la mayor cantidad de información. El primer componente explicó el 47,4% de la varianza, el segundo componente el 15% de la varianza y el tercer componente el 12,3% de la varianza. En conjunto los tres componentes explican 75,2% de la variabilidad de los datos. En el biplot presentado en la **Figura 1-10** se observa que se puede distinguir tres grupos (cada grupo de genotipos se les asigno un color: verde (**grupo uno**), azul (**grupo dos**) y rojo (**grupo tres**), estos grupos también fueron obtenidos en el análisis de clusters. Para el componente uno, que es el que explica la mayor varianza, las variables que tienen mayor aporte son FDI (0,41) FDT (0,45), carbohidratos (-0,46) y energía (-0,46), donde los valores entre paréntesis son los coeficientes de la correlación existente entre una variable original y un factor, obtenido por combinación lineal de las variables originales, entre más alto el valor absoluto del coeficiente mayor es el aporte de las variables al componente, esto permite dentro del análisis exploratorio de datos por componentes principales seleccionar las variables que mejor permiten distinguir o agrupar los genotipos de papa y las variables más importantes a medir para realizar un análisis multivariado supervisado. Esta información indica que el primer componente tiene una relación positiva con las variables FDI y FDT, y una correlación negativa con el contenido carbohidratos y energía, indicando que los genotipos del grupo 1 son los que destacan por un alto contenido de FDT y FDI pero bajos aportes de carbohidratos y energía. El segundo componente tiene correlaciones negativas con materia seca (-0,41), grasa (-0,62) y proteína (-0,41), lo que indica que genotipos con valores positivos en este componente van a ser los genotipos con menor contenido de materia seca, proteína y gra



**Figura 1-9:** Dendograma en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Pastusa Suprema) de papa cocida evaluadas por macronutrientes.



**Figura 1-10:** Biplot del análisis de componentes principales para el análisis proximal y calorías en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Pastusa Suprema) de papa cocida.



La **tabla 1-4** muestra las correlaciones de Pearson entre cada par de variables. El rango de estos coeficientes de correlación puede ir de -1 a +1 y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. Se encontraron correlaciones significativas ( $p \leq 0,05$ ) positivas entre proteína y grasa (0,24) y entre proteína y FDS (0,25). De otro lado, se encontraron correlaciones significativas ( $p \leq 0,05$ ) negativas entre carbohidratos y FDI (-0,76), entre carbohidratos y FDS (-0,40) y entre carbohidratos y proteínas (-0,75). Otros autores han señalado que un contenido alto de proteína está correlacionado de manera inversa con el contenido de almidón (Lu et al., 2011). También se ha reportado para trigo una correlación negativa entre almidón digestible con los componentes de la fibra dietaria (Andersson et al.)

**Tabla 1-5:** Correlaciones de Pearson entre las variables de análisis proximal.

	Proteína	Grasa	FDI	FDS	FDT	CHS	Cenizas	Energía
Proteína		<b>0,24</b>	<b>0,25</b>	0,14	<b>0,27</b>	<b>-0,75</b>	<b>0,31</b>	<b>-0,31</b>
Grasa	<b>0,24</b>		-0,03	<b>0,18</b>	0,05	-0,21	0,16	-0,03
FDI	<b>0,25</b>	-0,03		0,11	<b>0,93</b>	<b>-0,76</b>	<b>0,27</b>	<b>-0,91</b>
FDS	0,14	<b>0,18</b>	0,11		<b>0,47</b>	<b>-0,40</b>	0,15	<b>-0,46</b>
FDT	<b>0,27</b>	0,05	<b>0,93</b>	<b>0,47</b>		<b>-0,82</b>	<b>0,29</b>	<b>-0,98</b>
CHS	<b>-0,75</b>	<b>-0,21</b>	<b>-0,76</b>	<b>-0,40</b>	<b>-0,82</b>		<b>-0,50</b>	<b>0,85</b>
Cenizas	<b>0,31</b>	0,16	<b>0,27</b>	0,15	<b>0,29</b>	<b>-0,50</b>		<b>-0,47</b>
Energía	<b>-0,31</b>	-0,03	<b>-0,91</b>	<b>-0,46</b>	<b>-0,98</b>	<b>0,85</b>	<b>-0,47</b>	

Fibra dietaria insoluble (**FDI**), fibra dietaria soluble (**FDS**), fibra dietaria total (**FDT**) y carbohidratos disponibles (**CH**). Valores en negrilla indican correlaciones significativamente diferentes de cero con  $p \leq 0,05$ .

## 1.4 Conclusiones y recomendaciones

### 1.4.1 Conclusiones

En este estudio se obtuvo una alta variabilidad para el contenido de materia seca (12,4 a 31,0 g/100 g BH), proteína (1,8 a 17,2 g/100 g BS), fibra dietaria soluble (1,0 a 6,6 g/100 g BS), fibra dietaria insoluble (6,3 a 20,9 g/100 g BS), cenizas (3,2 a 6,9 g/100 g BS) y carbohidratos digestibles (53,6 a 84,6 g/100 g BS) al evaluar 94 genotipos pertenecientes a la colección de trabajo de papa diploide de la Universidad Nacional de Colombia, 13 cultivares nativos y siete clones avanzados de papa diploide. Los valores de los controles Criolla Colombia, Criolla Guaneña, Criolla Paisa, Criolla Galeras, Diacol Capiro y Pastusa Suprema) presentaron rangos menores para materia seca (19,1 a 25,4 g/100 g BH), proteína (4,0 a 9,5 g/100 g BS), fibra dietaria soluble (2,7 a 4,4 g/100 g BS), fibra dietaria insoluble (6,3 a 12,3 g/100 g BS), cenizas (2,3 a 5,3 g/100 g BS) y carbohidratos digestibles (70,2 a 84,6 g/100 g BS).

En general, se encontró un contenido promedio mayor de proteína y fibra dietaria soluble e insoluble para los genotipos pertenecientes a la colección de trabajo de papa diploide de la Universidad Nacional de Colombia ( $8,6 \pm 2,6$  g de proteína/100g

BS,  $4,1 \pm 1,2$  g de FDS/100g BS y  $12,6 \pm 3,0$  g de FDI/100g BS) y los cultivares nativos recolectados en el Departamento de Nariño ( $10,4 \pm 2,8$  g de proteína/100g BS,  $4,6 \pm 1,1$  g de FDS /100g BS y  $11,0 \pm 2,2$  g de FDI/100g BS) al compararse con los cultivares comerciales de papa diploide ( $6,4 \pm 3,3$  g de proteína/100 g BS,  $3,6 \pm 0,9$  g de FDS/100 g BS y  $11,2 \pm 0,9$  g de FDI/100 g BS) y papa tetraploide ( $6,8 \pm 0,1$  g de proteína/100 g BS,  $2,9 \pm 2,1$  g de FDS/100 g BS y  $7,5 \pm 0,8$  g de FDI/100 g BS).

Aplicando un análisis multivariado por medio de las técnicas de clusters y componentes principales se pudo distinguir un grupo conformado por 23 genotipos (**grupo uno**) promisorios para nuevos programas de mejoramiento de papa con mejor contenido nutricional (proteína) y características funcionales (fibra dietaria total). Estos genotipos del **grupo uno** del germoplasma Colombiano podrían proporcionar mayores porcentajes a las ingestas dietéticas de referencia de proteína y fibra dietaria total que los actuales cultivares comerciales de papa diploide y los dos cultivares tetraploides más consumidos y producidos en el país.

Un servicio de 110 g de papa cocida de los genotipos CCC-115 y CN-8 podrían proporcionar hasta el 6,0% para mujeres y 6,4 de los requerimientos diarios de proteína basados en un requerimiento de 2000 Kcal/ día. En el caso de fibra dietaria total los genotipos CCC-81, CCC-27 y CCC-14 que brindan más del 20,0% de acuerdo al requerimiento diario de ingesta de estos compuestos con características funcionales.

### 1.4.2 Recomendaciones

En este estudio se encontraron valores superiores en el contenido de proteína total y se seleccionó un grupo de 23 genotipos promisorios en este carácter para su incorporación en programas de mejoramiento, donde la realización del aminogramas para ver el perfil y el contenido de aminoácidos para determinar la calidad nutricional de la proteína permitirá avanzar en la caracterización nutricional del germoplasma colombiano de papa.

La identificación y cuantificación de los compuestos que constituyen la fibra dietaria soluble e insoluble es importante desde la perspectiva funcional de estos compuestos, en especial en aquellos genotipos que contienen altos valores de fibra dietaria soluble y fibra dietaria total.

En este estudio se logró realizar una fenotipificación del contenido de proteína y fibra dietaria encontrándose una alta variabilidad por lo cual una herramienta importante para apoyar a los programas de mejoramiento de papa puede ser la realización de estudios de asociación genética para explicar la variabilidad de proteína y fibra dietaria en el germoplasma colombiano de papa diploide.

## 2. Contenido mineral en *Solanum tuberosum* grupo Phureja

### Resumen

Las concentraciones de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), fósforo (P), azufre (S), hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu) y manganeso (Mn) se determinaron en: 81 genotipos de la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (COL) de papa diploide, 13 cultivares nativos diploides (CN) y siete clones avanzados (CA) del programa de mejoramiento de papa diploide de la Universidad Nacional de Colombia, se emplearon seis cultivares comerciales de papa como controles: cuatro *S. tuberosum* grupo Phureja (Criolla Colombia, Criolla Galeras, Criolla paisa y Criolla Guaneña) y dos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Pastusa Suprema). En promedio los genotipos pertenecientes a la COL presentaron valores mayores en los contenidos de K (2412,4 mg/100 g base seca, BS), Ca (61,2mg/100 g BS), Na (30,3 mg/100 g BS), S (132,8 mg/100 g BS), Fe (2,7 mg/100 g BS) y Zn (4,0 mg/100 g BS) en comparación al promedio de los otros grupos de genotipos evaluados [K (2303,1 mg/100 g BS), Ca (22,8 mg/100 g BS), Na (7,6 mg/100 g BS), S (117,4 mg/100 g BS), Fe (2,0 mg/100 g BS) y Zn (1,9 mg/100 g BS)]. Una porción de 110 g de papa cocida con los contenidos encontrados de Ca, Fe y Zn en los todos los genotipos de papa, incluidas las variedades comerciales aporta de a los requerimientos diarios de ingesta de adultos (con edades entre 19 a 50 años): entre el 0,2 a 6,0% para mujeres y hombres de los requerimientos de Ca, entre 1,1 a 7,0 % para mujeres y 2,3 a 14,6% para hombres de los requerimientos de Fe y entre 3,8 a 22,5% en mujeres y 2,1 a 12,9% en hombres de los requerimientos de Zn .

**Palabras claves:** minerales traza, macrominerales, *Solanum tuberosum* grupo Phureja.

## 2.1 Introducción

Los minerales son elementos químicos esenciales para el funcionamiento metabólico normal del cuerpo humano, por lo que se consideran esenciales (Anderson, 2014). Un exceso o defecto de aporte de minerales puede afectar a la salud. De acuerdo al requerimiento en la dieta de las personas y la concentración en los alimentos se pueden clasificar en dos grupos: macrominerales y minerales traza. Los macrominerales son los que las personas requieren con una ingesta mayor a 100 mg/día en la dieta. Dentro de este primer grupo se encuentran: azufre (S), calcio (Ca), cloro (Cl), fósforo (P), potasio (K) y magnesio (Mg). Los minerales traza son los que se necesitan en una ingesta menor de 100 mg/día en la dieta de las personas. Dentro de este segundo grupo se incluye: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cobre (Cu) (Anderson, 2014).

Las concentraciones de minerales en los tejidos de las plantas de papa cambian con la edad y varía dentro del tubérculo de papa. Algunos elementos tales como K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn y Cu se concentran en mayor concentración en la cáscara de la papa que en la pulpa (Kärenlampi & White, 2009).

La papa es una fuente de algunos minerales, como el K (Kärenlampi & White, 2009; Navarre, Goyer, & Shakya, 2009). Algunas variedades también poseen contenidos importantes de Fe, Zn y Ca; por ejemplo, en papas nativas andinas cocidas se han indicado concentraciones de Fe entre 1,0 y 2,2 mg/100g en base humedad (BH), concentraciones de Zn desde 0,9 hasta 1,6 mg/100g BH (Burgos, Amoros, Morote, Stangoulis, y Bonierbale, 2007) y papas *S. tuberosum* grupo Phureja contenidos de Ca entre 36,2 y 67,0 mg/100g BH (Andre et al., 2007). Los valores más altos de estos contenidos de Fe, Zn y Ca reportados anteriormente en papa de acuerdo las recomendaciones diarias de ingesta para Fe (27,0 mg para mujer y 13,0 mg para hombre y Zn (8,0 mg para mujer y 14,0 mg para hombre, de acuerdo a las recomendaciones de ingesta para la población colombiana adulta entre 19 a 50 años,

podrían representar aportes de Fe hasta 2,9% para mujeres y 8,1% para hombres, aportes de Zn hasta el 20,0% para mujeres y 11,4% para hombres y aportes de Ca hasta 6,7% para hombre y mujer si se consumen 110,0 g de papa, que es la porción promedio en Colombia (ENSIN, 2005). Estos valores indican entonces que la papa puede llegar alcanzar contenidos importantes de Fe, Zn y Ca.

Un factor importante en el contenido mineral es la biodisponibilidad y depende de muchos factores que interactúan con el nutriente, sin embargo se puede resaltar algunos factores importantes en la biodisponibilidad de los minerales como: la forma química del mineral, los ligandos del alimento, la actividad redox de los componentes del alimento, las interacciones mineral-mineral y el estado fisiológico del consumidor (Fennema, 2008).

La papa presenta bajos contenidos de inhibidores de minerales como oxalatos y fitatos (Camire, Kubow, & Donnelly, 2009; Nassar, Sabally, Kubow, Leclerc, & Donnelly, 2012) y buenos contenidos de ácido ascórbico (Zaheer & Akhtar, 2014) que ayuda a potenciar la biodisponibilidad mineral (Nassar et al., 2012).

La deficiencia de micronutrientes es un problema global que tienen serias consecuencias para la salud de la población. Actualmente se estima que más de 2 billones de personas en el mundo son deficientes en alguno de los siguientes micronutrientes: Fe, vitamina A, yodo y Zn (Hess, 2013; Lönnerdal & Hernell, 2013; Zimmermann, 2013), éstas son consideradas como las principales deficiencias de micronutrientes en términos de frecuencia y consecuencias en la salud.

La deficiencia de Fe, Zn y Ca se ha indicado en 14,9, 62,3, y 8,8%, respectivamente, en la población colombiana (ENSIN, 2005), por eso la caracterización del contenido mineral en los germoplasmas de papa diploide en nuestro país es de interés ya que los genotipos con mayor concentración de estos micronutrientes (Ca, Fe y Zn) pueden contribuir a aumentar la ingesta de estos minerales en los lugares donde el consumo de papa es alto.

Dada la importancia de estas deficiencias en minerales como Ca, Fe y Zn, es necesario cuantificar el contenido mineral en los alimentos con técnicas adecuadas.

En la determinación del contenido mineral en alimentos existen diversas técnicas. En donde la espectroscopia de emisión con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES) es una técnica que tiene buena sensibilidad para la determinación de metales (Sneddon & Vincent, 2008), además de ser multi-elemento, simple, rápida y barata comparada a otras técnicas (Aceto et al., 2002). Esta técnica se ha venido reportando con mayor aceptación en la cuantificación de macrominerales y minerales traza en los alimentos (Bressy, Brito, Barbosa, Teixeira, & Korn, 2013; Krejčová, Černohorský, & Meixner, 2007).

El germoplasma nativo de papa presenta notable diversidad genética (Hawkes, 1990), lo que sugiere una considerable variabilidad en el contenido de minerales (Andre et al., 2007), sin embargo en Colombia el germoplasma de papa no ha sido caracterizado por contenido mineral, solo hay reportes en algunos cultivares comerciales de papa crudos o productos (chips y conservas) (Herrera, 2011). Donde la determinación de las concentraciones de los minerales (especialmente Fe y Zn) en el germoplasma Colombiano de papa diploide, permitirá avanzar en la obtención de variedades mejoradas de papa a nivel nutricional. Por lo cual, los objetivos de este trabajo fueron determinar las concentraciones de macrominerales y minerales traza en 107 genotipos de papa y calcular la contribución a la ingesta diaria recomendada de minerales de una porción de papa de 110 g.

## 2.2 Metodología

### 2.2.1 Material vegetal

Para la determinación del contenido mineral se evaluaron: 81 genotipos de papa diploide pertenecientes a la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (CCC), trece cultivares de papas nativas (CN) y siete clones avanzados (CA) del programa de mejoramiento de papa diploide de la Universidad Nacional de Colombia para el desarrollo de nuevos cultivares. Además, se analizaron como controles Cuatro cultivares comerciales de papa diploide *S. tuberosum* grupo Phureja (Criolla Colombia, Criolla Guaneña, Criolla Paisa y Criolla Galeras) y dos cultivares comerciales de papa tetraploide *S.tuberosum ssp tuberosum* (Diacol Capiro y Pastusa Suprema), cultivares con alto consumo en fresco o procesado en nuestro país.

Los tubérculos pertenecientes a la CCC y los cuatro cultivares comerciales de papa diploide se sembraron en el centro experimental agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia en Mosquera, Cundinamarca (2516 metros sobre el nivel del mar, msnm, 4,0° 41,0' 29,5" norte 74,0° 12,0 '39,4" oeste). Estos tubérculos se sembraron en septiembre de 2013 y fueron cosechados en febrero de 2014. Los tubérculos CN se sembraron en el centro experimental agropecuario Marengo de la Universidad Nacional de Colombia en Mosquera, Cundinamarca (2516 msnm, 4,0° 41,0' 29,5" norte 74°12'39,4" oeste). Estos tubérculos se sembraron en mayo de 2013 y fueron cosechados en septiembre de 2013. Los tubérculos pertenecientes a los CA se cultivaron en Obonuco, Nariño Colombia (1,0° 11,0' norte y 77,0° 18,0' oeste y 2871 msnm). Estos tubérculos se sembraron en mayo de 2012 y fueron cosechados en septiembre de 2012.

Los experimentos tuvieron tres repeticiones biológicas. Cada unidad experimental consistió en tres tubérculos sembrados en línea. A Las plantas se le realizaron todas las labores de cultivo necesarias, incluyendo los manejos fitosanitarios para

garantizar el crecimiento y producción adecuados. Los tubérculos fueron cosechados en estado de madurez comercial y se almacenaron a 4 °C durante máximo dos días.

Los tubérculos de los cultivares Diacol Capiro y Pastusa Suprema se adquirieron en un supermercado en la ciudad de Bogotá en Junio del 2013.

### 2.2.2 Preparación de la muestra

Los tubérculos de papa enteros con cáscara por las tres replicas biológicas de cada genotipo se lavaron en agua destilada y a diferencia del procedimiento del análisis proximal, se sumergieron en una disolución acuosa de HCl 0,25 M durante 10 min para eliminar impurezas del suelo. A continuación, los tubérculos fueron hervidos en agua destilada y desionizada de acuerdo a los parámetros descritos en la tabla 1-1. Los tubérculos hervidos se cortaron, se congelaron en nitrógeno líquido, se almacenaron a -80 °C, se molieron hasta pasar por una malla con tamaño de partícula inferior a 0,2 mm. Las muestras se guardaron en bolsas de polietileno y se almacenaron en un desecador a temperatura ambiente hasta su uso, protegiéndolas de la luz.

### 2.2.3 Análisis del contenido de macrominerales y minerales traza.

A la muestra se le realizó un proceso de cuarteo y se pesó 0,6 g de liofilizado molido de papa y se digirió en una mezcla de  $\text{HClO}_4$ :  $\text{HNO}_3$  (10:1, v:v) en tubos de Pyrex (Habón, Fowles, & Palmer, 2011). Una vez que se completó la digestión la solución fue llevada a un balón aforado de 25,0 mL y se completó a volumen con agua desionizada. El contenido de macrominerales y minerales traza se midió en las soluciones utilizando plasma acoplado inductivamente a espectrometría de emisión óptica (ICP-OES) (Spectro Analytical Instruments, Kleve, Alemania) en la calibración para los rangos evaluados presentaron relaciones con  $R^2 \geq 0,9996$  (**Anexo D**) (Wheal, Fowles, & Palmer, 2011). Se empleó como material de referencia NIST rice flour (RF) 1568<sup>a</sup> y se calculó el porcentaje de recuperación [promedio de la concentración de la muestra)/(concentración del material de referencia)) x 100] y la desviación estándar (RD) como %RDS [%RDS= (RD/Concentración de la muestra)

\*100 ](**Anexo D**). El contenido de minerales se expresó como mg/100 g de papa cocida, tanto en base humedad (BH) y base seca (BS).

#### 2.2.4 Aporte a la ingesta diaria recomendada de minerales

Teniendo en cuenta una porción de 110 g de papa cocida con cáscara se calculó la contribución de esta porción de papa consultando los valores de la ingestas alimentaria de referencia (RDI), y Aporte dietético recomendado **RDA** para la población colombiana se calculó el porcentaje de contribución a los valores estos valores RDI O RDA (% IDR ó RDA) por la fórmula: % = [(110 g papa cocida con cáscara x mineral (mg/100g BH) x 100) / (recomendación (mg))].

#### 2.2.5 Análisis estadístico

Los datos incluyen el contenido de macrominerales y de minerales traza para los 107 genotipos de papa. Los resultados se expresaron como el promedio y su desviación estándar de mínimo tres replicas. Los datos obtenidos se analizaron por medio de análisis multivariado de componentes principales y de clusters. Se calcularon las correlaciones de Pearson ( $p \leq 0,05$ ) entre el contenido de minerales de los diferentes genotipos. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando los programas Matlab versión R2009b (Mathworks®, Natick, Massachusetts, USA) y spadV56 (Decisia®, Aubagne, Francia).

### 2.3 Resultados y análisis

Las figuras presentadas en este capítulo se organizaron en orden ascendente en el contenido de Fe para cada uno de los grupos de genotipos de la CCC, CN, CA y cultivares comerciales diploides y tetraploides. Esta organización se dio para mostrar fácilmente cuáles genotipos dentro de cada grupo (CCC, CN y CA) tienen el mayor potencial de aporte de Fe. El orden en el que se organizaron los genotipos de acuerdo a su contenido de Fe se mantuvo para los contenidos de los otros minerales. Así, aunque se ve un orden ascendente en el contenido de Fe, por ejemplo para la CCC (Figura 2-1), cuando ese orden se mantiene para el contenido de Ca (Figura 2-

6) se pierde el orden ascendente. Esto da un claro ejemplo del hecho que genotipos con altos contenido de Fe no necesariamente tienen altos niveles de los otros dos minerales.

### 2.3.1 Contenido de minerales traza

Los promedios y la desviación estándar del contenido de los minerales traza (Fe, Zn, Cu y Mn) de los genotipos CCC (81 genotipos), CN (13 genotipos), CA (siete genotipos), cuatro cultivares comerciales diploides y dos cultivares comerciales tetraploides se pueden ver en la **Tabla 2-1**.

**Tabla 2-1:** Contenido de minerales traza en tubérculos de papa cocida expresados en mg/100g base seca en 105 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida con cáscara.

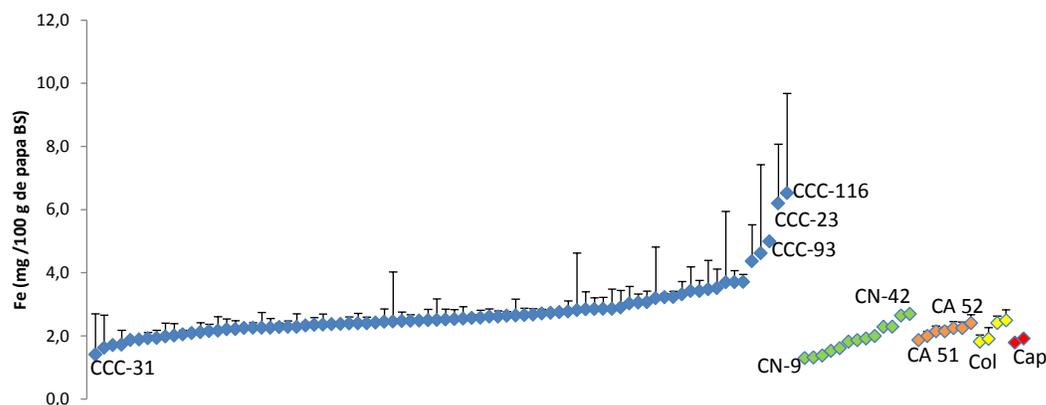
	n	Fe	Zn	Mn	Cu
<b>CCC</b>	81	2,7 ± 0,9	4,0 ± 0,7	0,5 ± 0,4	0,7 ± 0,2
<b>CN</b>	13	1,9 ± 0,5	2,1 ± 0,5	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,1
<b>CA</b>	7	2,1 ± 0,2	1,4 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1
<b>Comerciales</b>					
<b>Diploides</b>					
<i>S. tuberosum</i> grupo Phureja	4	2,2 ± 0,3	2,3 ± 1,3	0,6 ± 0,1	0,5 ± 0,3
<b>Comerciales</b>					
<b>Tetraploides</b>					
<i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i>	2	1,9 ± 0,1	1,2 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,4 ± 0,2
<b>Valor menor</b>		1,3	1,0	0,2	0,2
<b>Valor mayor</b>		6,5	5,8	3,3	1,8

Los datos son el promedio de tres réplicas ± 1 desviación estándar. Donde n indica el número de genotipos en cada uno de los grupos evaluados de papa. Colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), Cultivares nativos (**CN**) y Clones avanzados (**CA**).

El CCC-116 (6,5 mg/100 g BS) presentó el mayor contenido de Fe, mientras CN-9 y CN-124 (1,3 mg/100 g BS) tuvieron los contenidos más bajos (**Figura 2-1**). El contenido de Fe en CCC-116 (6,5 mg/100 g BS) hace de este genotipo un buen candidato al momento de usarlo como material parental en fitomejoramiento puesto que representó un aumento de hasta 3,6 veces en comparación con los valores de Criolla Colombia (1,8 mg/100 g BS) y Diacol Capiro (1,8 mg/100 g BS). El rango del

contenido de Fe encontrado en el estudio actual es mayor a lo reportado en doce papas andinas cocidas (entre 1,0 y 2,2 mg/100 g BS) (Burgos et al., 2007) y en dos genotipos crudos de *S. tuberosum* grupo Phureja (5,8 mg/100 g BS) (André et al., 2007).

**Figura 2-1:** Contenido de hierro en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.



Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (CCC), verde para los Cultivares Nativos (CN), amarillo para los Clones Avanzados (CA), amarillo para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (Col) y Diacol Capiro (Cap). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

Además de la presencia de Fe en la papa es de resaltar el contenido importante de ácido ascórbico. El ácido ascórbico aumenta la biodisponibilidad Fe en los alimentos (Fennema, 2008). La concentración de ácido ascórbico en tubérculos cocidos de 25 variedades de papa andinas del banco germoplasma del CIP entre 8,1 a 20,6 mg/100 g BH (Burgos, Auqui, Amoros, Salas, & Bonierbale, 2009). Este compuesto es un agente reductor que convierte  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$ , que es una forma más soluble y biodisponible.

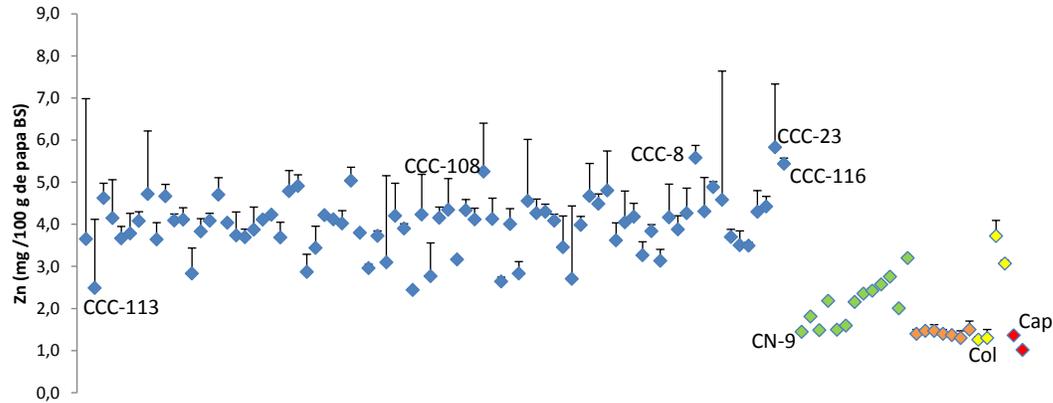
Los niveles de ácido ascórbico en la papa presenta valores cercanos con otros alimentos como tomate (21,7 mg/100 g BH), jugo de naranja (20,6 mg/100 g BH) o jugo de uva (29,9 mg/100 g BH). La papa contiene un bajo contenido de fitatos inhibidores de absorción de minerales (Camire et al., 2009). Estos compuestos son responsables de la baja biodisponibilidad de minerales en los alimentos de origen

vegetal. Las legumbres, por ejemplo, a pesar de tener un alto contenido de Fe, [frijoles (6,4 g/ 100 g BH) y lentejas (7,1 g/ 100 g BH)(Cabrera, Lloris, Giménez, Olalla, & López, 2003)] tienen baja biodisponibilidad para este mineral traza, debido a un bajo contenido de vitamina C, [frijoles (4,5 mg/100 g BH) y lentejas (4,5 mg/100 g BH)(Tabla de composición de alimentos -USDA)] y un contenido alto de fitatos que son poderosos agentes quelantes de cationes divalente (por ejemplo,  $Fe^{2+}$ ) y trivalentes (por ejemplo,  $Fe^{3+}$ ). Los fitatos son los responsables de la baja disponibilidad de hierro en las células, debido a que el hierro permanece unido al agente quelante y de esa manera se excreta con la orina (Huang et al, 2013; Mitchikpe et al., 2008). La concentración de fitatos en papa cruda se ha informado entre 111 y 270 mg/100g BH (Phillippy, Lin, y Rasco, 2004), mucho menor comparado con el contenido reportado en leguminosas como frijol rojo (616 mg/100g BH) (Israr, Frazier, y Gordon, 2013).

El contenido de Fe de este estudio para papa cocida con cáscara en base húmeda estuvo en un rango de 0,3 a 1,7 mg/100g BH, donde se observa que algunos genotipos exhiben valores mayores a lo reportado en otros tubérculos como yuca cocida (0,45 mg/100g BH) y plátano verde cocido (0,52 mg/100g BH)(ICBF, 2005).

El contenido de Zn varió de 1,0 mg/100g BS (Pastusa Suprema) a 5,8 mg/100g BS (CCC-23, 4,6 veces mayor en comparación con Criolla Colombia o 4,3 veces mayor que Diacol Capiro) (**Figura 2-2**). El rango del contenido de Zn encontrado en el estudio actual supera el valor reportado en papas cocidas andinas (que van desde 0,9 hasta 1,6 mg/100 g BS) (Burgos et al., 2007). Otros autores han informado que el contenido de Zn en la papa cruda puede variar desde 1,9 hasta 2,1 mg/100g BS (André et al., 2007).

**Figura 2-2:** Contenido de zinc en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.



Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (CCC), verde para los Cultivares Nativos (CN), amarillo para los Clones Avanzados (CA), amarillo para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (Col) y Diacol Capiro (Cap). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

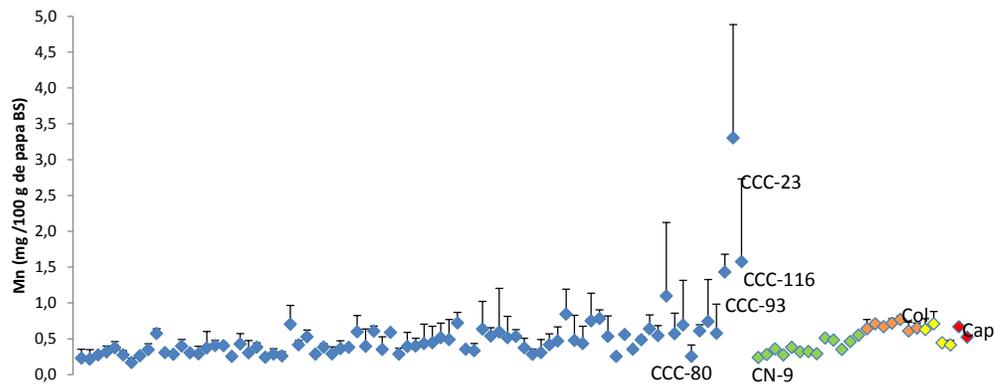
El contenido de Zn de este estudio de papa cocida con cascara en base húmeda estuvo en un rango de 0,2 a 1,6 mg/100g BH, donde hay genotipos con valores mayores a lo reportado en otros tubérculos como yuca cocida (0,59 mg/100g BH) y plátano verde cocido (0,22 mg/100g BH) (ICBF, 2005). (ICBF, 2005).

El Zn es otro elemento traza que disminuye su disponibilidad con alto contenido de fitatos (Yonekura y Suzuki, 2003), pero como se mencionó antes este inhibidor está presente en bajas concentraciones en papa, lo cual puede aumentar la biodisponibilidad de Zn en la dieta.

El contenido de Mn (**Figura 2-3**) varió de 0,2 mg/100 g BS en CCC-20, CCC-31, CCC-56, CCC-113 y CN-9 a 3,3 mg/100 g BS en CCC-23 (5,2 veces mayor en comparación con Criolla Colombia y 4,9 veces mayor que Diacol Capiro). El contenido de Cu (**Figura 2-4**) varió de 0,2 mg en Criolla Colombia y Pastusa Suprema a 1,8 mg/100g BS en CCC-145 (8,3 veces mayor en comparación con Criolla Colombia y 3,6 veces mayor que Diacol Capiro). Estos valores son mayores

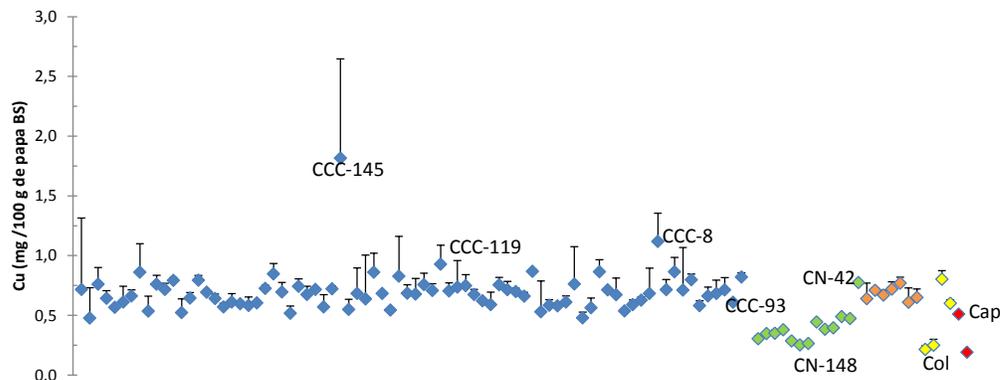
que los reportados por Burlingame et al. (2009) en tubérculos de papa cruda (de 0,1 a 0,4 mg de Mn y de 0,1 a 0,2 mg de Cu).

**Figura 2-3:** Contenido de manganeso en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.



Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), amarillo para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

**Figura 2-4:** Contenido de cobre en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.

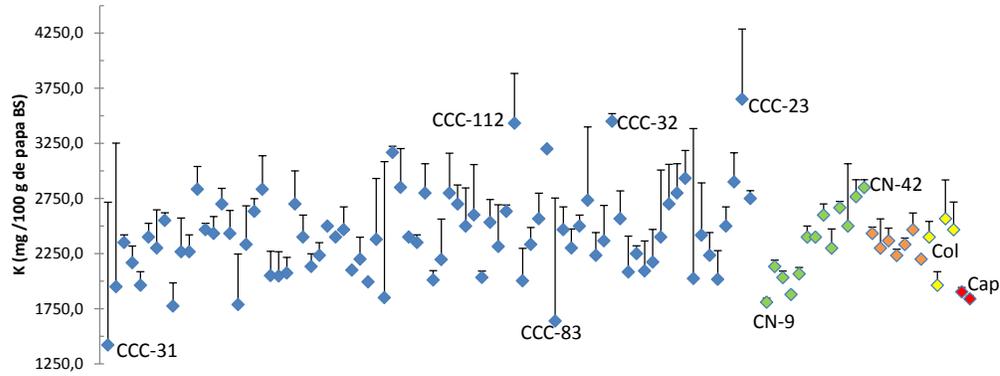


Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), amarillo para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

### 2.3.2 Contenido de macrominerales

La **Tabla 2-2** muestra los promedios de las concentraciones y desviaciones estándar de los macrominerales Ca, K, P, Mg, Na, y S. En la tabla se observa una alta variabilidad entre los genotipos de papa evaluados (CCC, CA, CN y cultivares comerciales), vista a través de los altos valores de desviación estándar en comparación con los promedios y el contenido mínimo y máximo de cada macromineral. Esta alta variabilidad puede estar relacionada con la naturaleza del suelo donde es cultivado y del genotipo, como ha sido reportado previamente (Nassar et al., 2012). Los promedios de los contenidos para macrominerales en los genotipos pertenecientes a la CCC fueron los más altos que los promedios de los demás grupos de genotipos evaluados. El macromineral con mayor concentración en todos los tubérculos evaluados fue el K. El contenido de K (**Figura 2-5**) varió de 1420,0 mg/100 g BS en CCC-31 a 3650,0 mg/100 g BS en el CCC-23 (1,5 veces mayor en comparación con Criolla Colombia o 1,3 veces de incremento en comparación con Diacol Capiro).

**Figura 2-5:** Contenido de potasio en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema).



Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), amarillo para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

**Tabla 2-2:** Promedio de macrominerales en tubérculos de papa cocida con cáscara expresado en mg/100g en base seca en 105 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema).

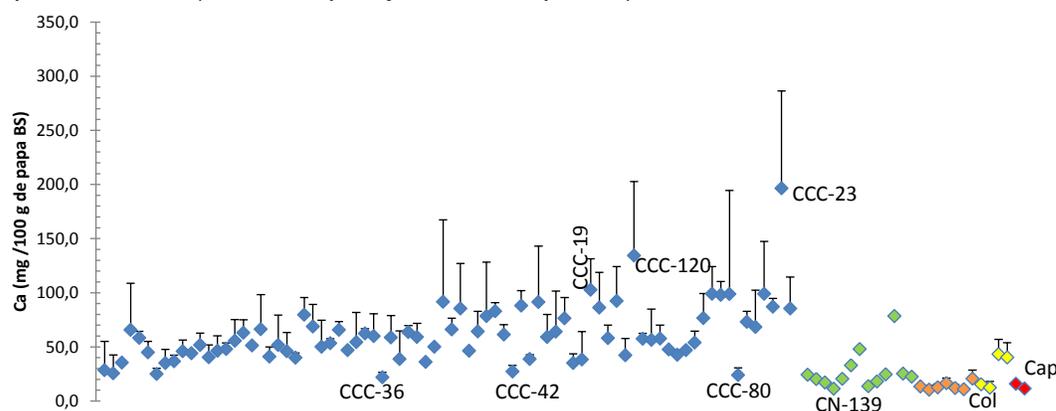
	<b>n</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>P</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>S</b>
<b>CCC</b>	81	2412,4 ± 396,5	61,2 ± 26,7	235,9 ± 44,9	91,2 ± 17,1	30,3 ± 14,7	132,8 ± 22,6
<b>CN</b>	13	2339,9 ± 336,0	27,5 ± 17,9	251,7 ± 79,4	92,6 ± 17,0	8,8 ± 5,6	112,4 ± 28,2
<b>CA</b>	7	2333,3 ± 98,1	13,9 ± 3,6	184,3 ± 18,8	101,5 ± 4,9	0,8 ± 0,1	131,7 ± 1,2
<b>Comerciales diploides</b> <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja	4	2349,2 ± 266,2	27,9 ± 16,2	215,7 ± 37,3	99,6 ± 10,1	18,5 ± 28,3	123,7 ± 16,0
<b>Comerciales tetraploides</b> <i>S. tuberosum</i> ssp <i>tuberosum</i>	2	1871,7 ± 44,8	13,8 ± 3,1	129,9 ± 22,6	96,1 ± 16,4	1,2 ± 0,9	86,6 ± 5,8
<b>Valor menor</b>		1420,0	10,5	113,0	45,8	0,6	70,7
<b>Valor mayor</b>		3650,0	196,5	420,0	129,0	85,5	186,3

Donde **n** indica el número de genotipos en cada uno de los grupos evaluados de papa. Colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**COL**), Cultivares nativos (**CN**) y Clones avanzados (**CA**)

El contenido de K de este estudio de papa cocida con cascara en base húmeda estuvo en un rango de 279,5 a 1010,4 mg/100g BH fue mayor a lo reportado en otros tubérculos como plátano verde cocido (276,6 mg/100g BH) (ICBF, 2005).

El contenido de Ca (**Tabla 2-2**) varió de 10,5 mg/100g BS en el CA-59 a 196,5 mg/100g BS en el CCC-23 (12,7 veces mayor en comparación con Criolla Colombia o 12,3 veces de incremento en comparación con Diacol Capiro) (**Figura 2-6**). Los valores de Ca para algunos genotipos expresados en base húmeda estuvo entre 2,1 a 54,4 mg/100g BH, se observa en este tango que hay algunos genotipos de papa cocida con cáscara con valores mayores en comparación a otros tubérculos como yuca cocida (15,6 mg/100g BH) y plátano verde cocido (7,26 mg/100g BH) (ICBF, 2005).

**Figura 2-6:** Contenido de calcio en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema).

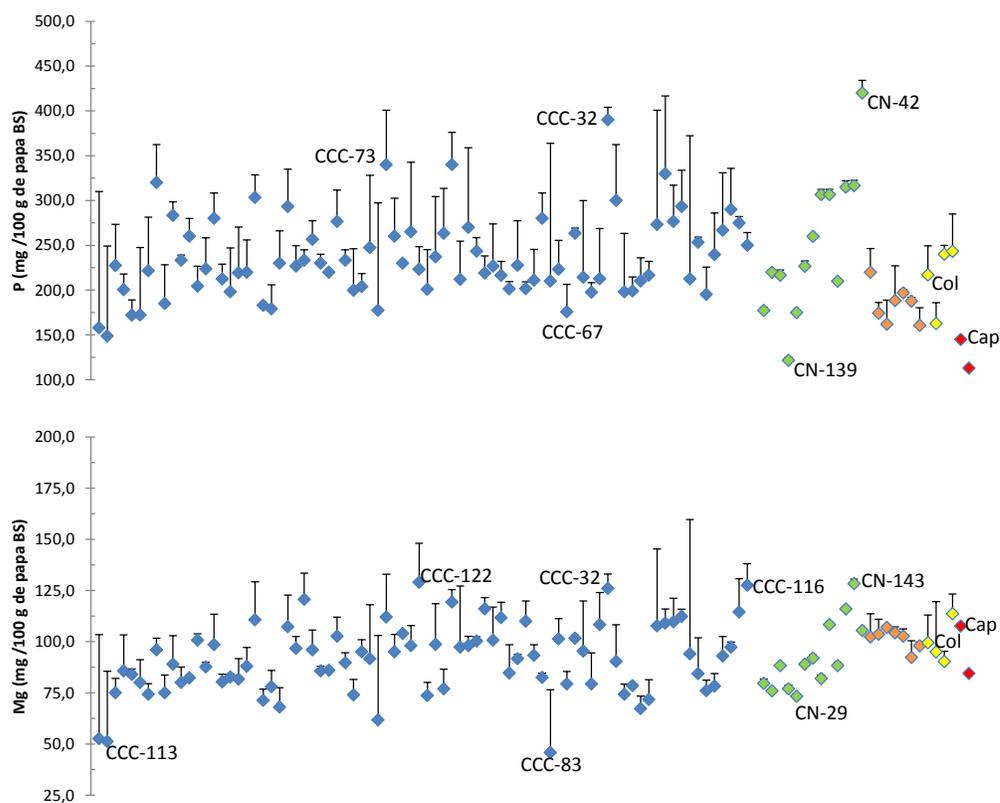


Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (CCC), verde para los Cultivares Nativos (CN), amarillo para los Clones Avanzados (CA), amarillo para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (Col) y Diacol Capiro (Cap). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

El contenido de P (**Figura 2-7**) varió desde 113,0 mg/100g BS en Pastusa Suprema hasta 420,0 mg/100g BS en el CN-42 (1,9 veces mayor en comparación con Criolla Colombia o 2,9 veces de incremento en comparación con Diacol Capiro). En el caso

de Mg (**Figura 2-7**), los valores en las muestras analizadas variaron de 45,8 mg/100g BS en CCC-83 a 129,0 mg/100g BS en CCC-122 (1,3 veces mayor en comparación con Criolla Colombia o 1,2 Diacol Capiro).

**Figura 2-7:** Contenido de fósforo y magnesio en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema).

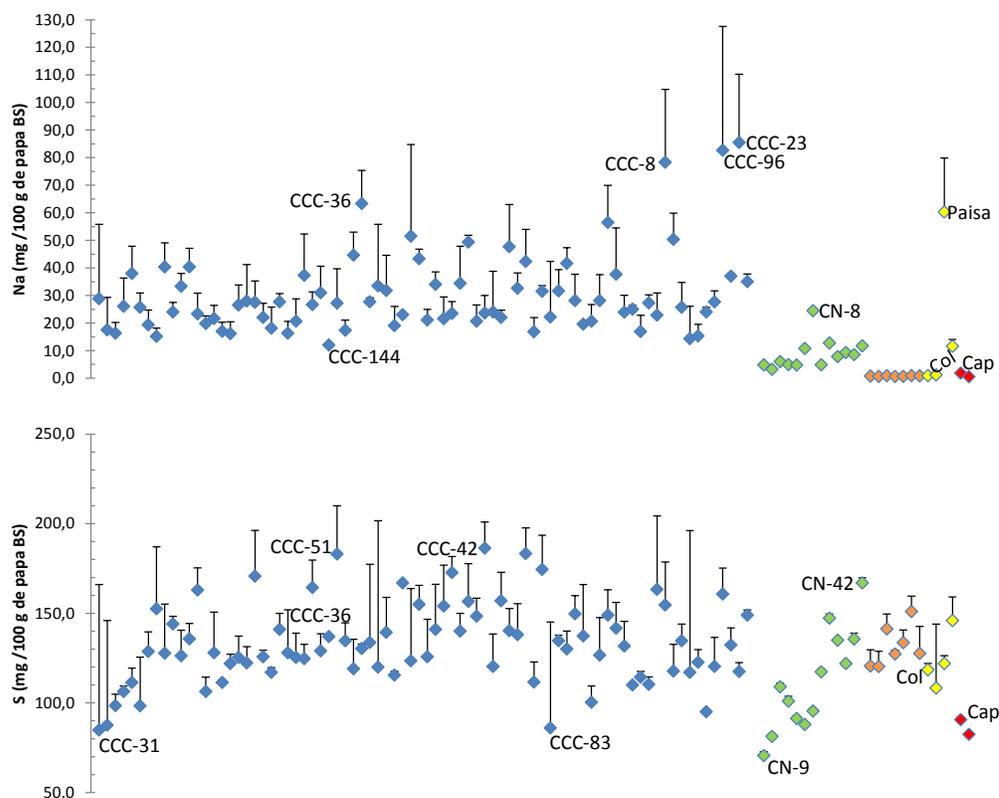


Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), verde para los Cultivares Nativos (**CN**), amarillo para los Clones Avanzados (**CA**), naranja para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (**Col**) y Diacol Capiro (**Cap**). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

De otro lado, Pastusa Suprema tuvo el más bajo contenido de Na (0,6 mg/100 g BS), mientras CCC-23 tuvo el contenido más alto (85,5 mg/100 g BS). El contenido de S osciló entre 70,7 mg/100 g BS en CN-9 a 186,3 mg/100 g BS en CA-64 (1,6 veces mayor en comparación con Criolla Colombia ó 2,1 veces mayor en comparación con

Diacol Capiro) (**Figura 2-8**). Las concentraciones de macrominerales obtenidos en este trabajo están dentro de los rangos reportados por otros autores para papas (Burlingame, Mouillé, & Charrondiére, 2009; Rivero, Hernández, Rodríguez, Martín, & Romero, 2003; Tamasi et al.)

**Figura 2-8:** Contenido de sodio y azufre en tubérculos de papa cocida en 105 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema).



Los colores indican los grupos de genotipos: azul para la colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (CCC), verde para los Cultivares Nativos (CN), amarillo para los Clones Avanzados (CA), amarillo para cultivares comerciales diploides y rojo para cultivares comerciales diploides. Criolla Colombia (Col) y Diacol Capiro (Cap). Las barras verticales representan la desviación estándar positiva.

### 2.3.3 Contribución a los valores diarios recomendados de ingesta de minerales

En general, los genotipos CCC tuvieron un mayor porcentaje de contribución a los valores diarios de la ingesta diaria de macrominerales recomendado al consumir una porción de 110 g BH de papa cocida para K, Ca, Mg y Na que los cultivares comerciales diploides y tetraploides (**Tabla 2-3**). Al transformar los contenidos en base humedad algunos genotipos al tener un mayor contenido de materia seca presentan % igual o mayor a los genotipos con el mejor contenido en cada mineral en BS, por ejemplo el contenido de Fe en base seca de los genotipos CCC- 23 (6,2 mg/100 g BS) y el CCC-116 (6,5 mg/100 g BS), al expresarse en base humedad para una porción de 110 g de papa los valores serian para CCC- 23 (2,0 mg BH) y el COL-116 (1,5 mg BH), en el cual el CCC-23 presentaría mayor aporte al %DRI.

Los genotipos de la CCC son una buena fuente de K, sobresaliendo el genotipo CCC-23 que proporciona hasta un 23,6% tanto para hombres y mujeres en comparación con los cultivares comerciales diploides que solo suministra hasta 13,6% (tanto para hombres y mujeres) y los cultivares comerciales tetraploides hasta 10,9%, tanto para hombres y mujeres. Del mismo modo, los genotipos CCC tuvieron una contribución mayor % de acuerdo a la RDI de Ca en comparación con los cultivares comerciales diploides y los cultivares comerciales tetraploides. Los CCC aportan hasta 6,6 % de Ca (CCC-23) para hombres y mujeres en comparación con los cultivares comerciales tetraploides (1,1% para hombres y mujeres) y cultivares comerciales tetraploides (0,4% para hombres y mujeres).

El aporte al % UL de Na es despreciable en los todos los genotipos CA y cultivares comerciales tetraploides (hasta 0,05%) en comparación a los CCC (hasta 1,4% en el CCC-86). Las concentraciones bajas de Na son favorables para las personas con regímenes alimentarios con restricción de este macromineral en la dieta.

**Tabla 2-3.** Porcentaje de contribución a la ingesta de macrominerales para un adulto de 19 a 50 años, basados en un servicio (110 g en base húmeda) de papa cocida con cáscara.

		Contenido (110 g de papa)		Requerimientos (mg/ día)		%			
		Mínimo	Máximo	Mujer	Hombre	Mujer		Hombre	
						Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
<b>K*</b>	CCC	380,5	1111,4	4700		8,1	23,6	8,1	23,6
	CN	480,4	719,8			10,2	15,3	10,2	15,3
	CA	405,3	648,5			8,6	13,8	8,6	13,8
	CCD	412,7	640,1			8,8	13,6	8,8	13,6
	CCT	447,6	513,7			9,5	10,9	9,5	10,9
<b>Ca**</b>	CC	5,1	59,8	1000		0,5	6,0	0,5	6,0
	CN	3,2	19,1			0,3	1,9	0,3	1,9
	CA	2,3	4,4			0,2	0,4	0,2	0,4
	CCD	3,3	10,5			0,3	1,1	0,3	1,1
	CCT	3,2	3,8			0,3	0,4	0,3	0,4
<b>Mg***</b>	CCC	11,1	34,9	320	420	3,5	10,9	2,6	8,3
	CN	20,6	32,7			6,4	10,2	4,9	7,8
	CA	18,9	25,6			5,9	8,0	4,5	6,1
	CCD	20,0	29,5			18,7	28,1	15,8	23,8
	CCT	23,6	25,3			22,5	24,2	19,0	20,5

Colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), Cultivares nativos (**CN**), Clones avanzados (**CA**), Cultivos comerciales diploides (**CCD**) y Cultivos comerciales tetraploides (**CCT**). \*Ingesta adecuada **IA** \*\* Ingesta dietética recomendada **RDI** \*\* Aporte dietético recomendado **RDA**.

Continuación **Tabla 2-3**

<b>Na***</b>	CCC	2,2	31,2	2300 Máximo	0,1	1,4	0,1	1,4
	CN	1,1	6,6		0,0	0,3	0,0	0,3
	CA	0,1	0,3		0,0	0,0	0,0	0,0
	CCD	0,2	14		0,0	0,6	0,0	0,6
	CCT	0,2	0,4		0,0	0,0	0,0	0,0
<b>P**</b>	CCC	32,3	82,7	700	4,6	11,8	4,6	11,8
	CN	34,1	106,1		4,9	15,2	4,9	15,2
	CA	33,8	54,9		4,8	7,8	4,8	7,8
	CCD	34,2	63,1		4,9	9,0	4,9	9,0
	CCT	31,5	34,1		4,5	4,9	4,5	4,9

Colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), Cultivares nativos (**CN**), Clones avanzados (**CA**), Cultivos comerciales diploides (**CCD**) y Cultivos comerciales tetraploides (**CCT**).\*\*\*Nivel de ingesta superior tolerable **UL** (siglas en inglesas) \*\* Aporte dietético recomendado **RDA**, (siglas en inglesas).

Los genotipos de papa cocida con cáscara de la CCC presentaron el % de contribución al RDA de Fe más alto en comparación a los demás genotipos, donde el genotipo CCC-23 llegaría a aportar hasta el 14,6% para los hombres y 7,0% para las mujeres. También para Zn los CCC presentaron % de contribución al RDA más altos, donde el genotipo CCC-23 aporta hasta el 12,9% para hombres y 22,5% para mujeres. Los porcentajes de valores diarios obtenidos de Fe y Zn fueron superiores a los cultivares comerciales diploides (en Criolla Guaneña hasta 4,6% para los hombres y hasta del 2,2% para las mujeres en el caso del Fe y Criolla Paisa hasta el 10,0% para los hombre y hasta el 5,7% para las mujeres en el Zn) y cultivares comerciales tetraploides (Pastusa Suprema hasta 3,8% para los hombres y un 1,9% para las mujeres en Fe, en Zn Diacol Capiro hasta 2,1% hombres y 3,8% mujeres).

Los aportes a los requerimientos diarios de algunos genotipos de papa para Fe (CCC-23, CCC-88, CCC-99 y CCC-116) y Zn (CCC-2, COL-23, CCC-56 y CCC-67) son de gran interés ya que las áreas rurales de los países en desarrollo, las dietas son principalmente a base de productos de origen vegetal (cereales y tubérculos) con una cantidad limitada de alimentos de origen animal, incluidos los productos lácteos (Lazarte et al., 2015). Estos tipos de dieta por lo general tienen una baja biodisponibilidad de minerales (principalmente Zn, Fe y Ca) debido a la presencia de inhibidores de la absorción tales como fitatos, taninos, oxalatos y otros, pero en el caso de la papa estos inhibidores se encuentran en bajas concentraciones (Phillippy, Lin, & Rasco, 2004). Por lo tanto, la introducción de cultivares de papa con mayores aportes de minerales (Ca, Fe y Zn) puede ser una buena alternativa para mejorar la ingesta de estos minerales. La papa es un alimento que ya pertenece al patrón de consumo de familias colombianas en especial en las áreas rurales donde se presenta o hay riesgo de deficiencia de estos minerales. Siendo una de las estrategias para combatir los problemas de deficiencia en Ca, Fe y Zn aumentar la concentración y la biodisponibilidad de estos minerales en cultivos alimenticios de mayor consumo, como la papa por medio de los programas de mejoramiento (Burgos, Amoros, Morote, Stangoulis, & Bonierbale, 2007; Litaladio & Castaldi, 2009; Rose, Burgos, Bonierbale, & Thiele, 2009).

**Tabla 2-4:** Porcentaje de contribución a la recomendación de ingesta de minerales traza para hombre/mujer con edad de 19 a 50 años, basados en un servicio (110 g en base húmeda) de papa cocida con cáscara.

		Contenido (110 g de papa)		Requerimientos (mg/ día)		%			
		Mínimo	Máximo	Mujer	Hombre	Mujer		Hombre	
						Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
<b>Fe*</b>	CCC	0,5	1,9			1,9	7,0	3,8	14,6
	CN	0,4	0,7			1,5	2,6	3,1	5,4
	CA	0,4	0,6	27,0	13,0	1,5	2,2	3,1	4,6
	CCD	0,3	0,6			1,1	2,2	2,3	4,6
	CCT	0,4	0,5			1,5	1,9	3,1	3,8
<b>Zn*</b>	CCC	0,5	1,8			6,3	22,5	3,6	12,9
	CN	0,4	0,8			5,0	10,0	2,9	5,7
	CA		0,3	8	14	0,0	3,8	0,0	2,1
	CCD	0,3	0,8			3,8	10,0	2,1	5,7
	CCT		0,3			0,0	3,8	0,0	2,1

Colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), Cultivares nativos (**CN**), Clones avanzados (**CA**), Cultivos comerciales diploides (**CCD**) y Cultivos comerciales tetraploides (**CCT**). \* Aporte dietético recomendado (RDA, por su sigla en inglés) de Fe y Zn

Continuación **Tabla 2-4**

<b>Mn**</b>	CCC	0,1	2,1	1,8	2,3	5,6	116,7	4,3	91,3
	CN	0,1	0,3			5,6	16,7	4,3	13,0
	CA	0,3	0,4			16,7	22,2	13,0	17,4
	CCD	0,2	0,3			11,1	16,7	8,7	13,0
	CCT		0,3			0,0	16,7	0,0	13,0
<b>Cu**</b>	CCC	0,2	0,8	0,9	0,9	22,2	88,9	22,2	88,9
	CN	0,2	0,4			22,2	44,4	22,2	44,4
	CA	0,3	0,4			33,3	44,4	33,3	44,4
	CCD	0,1	0,4			11,1	44,4	11,1	44,4
	CCT	0,1	0,3			11,1	33,3	11,1	33,3

Colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia (**CCC**), Cultivares nativos (**CN**), Clones avanzados (**CA**), Cultivos comerciales diploides (**CCD**) y Cultivos comerciales tetraploides (**CCT**). \* CANTIDADES DIARIAS RECOMENDADAS (RDA, por su sigla en inglés) de Fe (10% biodisponibilidad) y Zn (biodisponibilidad moderada) fueron consultadas en FAO/WHO (2005) \*\* Aporte dietético recomendado **RDA**, (siglas en inglesas) en FNB (2001).

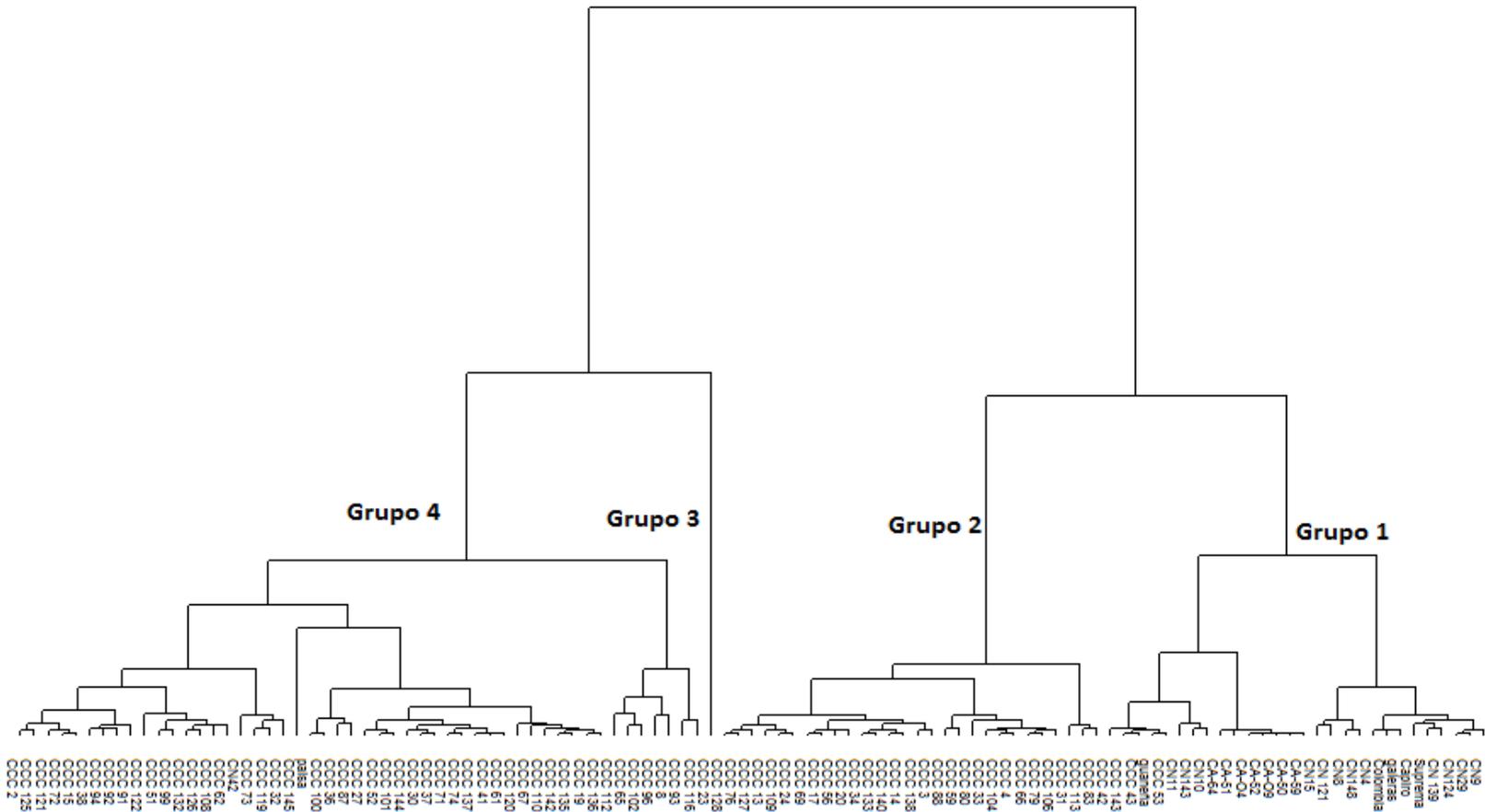
### 2.3.4 Análisis multivariado para el contenido de minerales.

Se realizó un análisis por clusters donde se pudieron distinguir cuatro grupos de genotipos (**Figura 2-9**). En el **grupo uno** se agrupan en total 27 genotipos: tres pertenecientes a la CCC y 12 genotipos de los CN, todos los genotipos CA, tres cultivares comerciales diploides (Criolla Colombia, Criolla Galeras y Criolla Guaneña) y los dos cultivares comerciales tetraploides (Diacol Capiro y Pastusa Suprema), este grupo presento los menores promedios en los contenidos de Fe, Zn y Cu. En el **grupo dos** se ubicaron 28 genotipos todos correspondientes a CCC, este grupo exhibió valores superiores de Fe, Zn, Cu, Ca y Na y menores valores para Mn, Mg, K, P y S al compararse con el grupo 1. En el **grupo tres** solo hay un genotipo: COL-128. En el **grupo cuatro** se congregaron 49 genotipos de la CCC, CN-42 y Criolla Paisa, estos genotipos se caracterizaron por valores altos de los promedios de todos los minerales evaluados. Los genotipos clasificados dentro del grupo cuatro pueden ser candidatos promisorios para nuevos programas de mejoramiento de papa para biofortificación en Fe, Zn ó Ca.

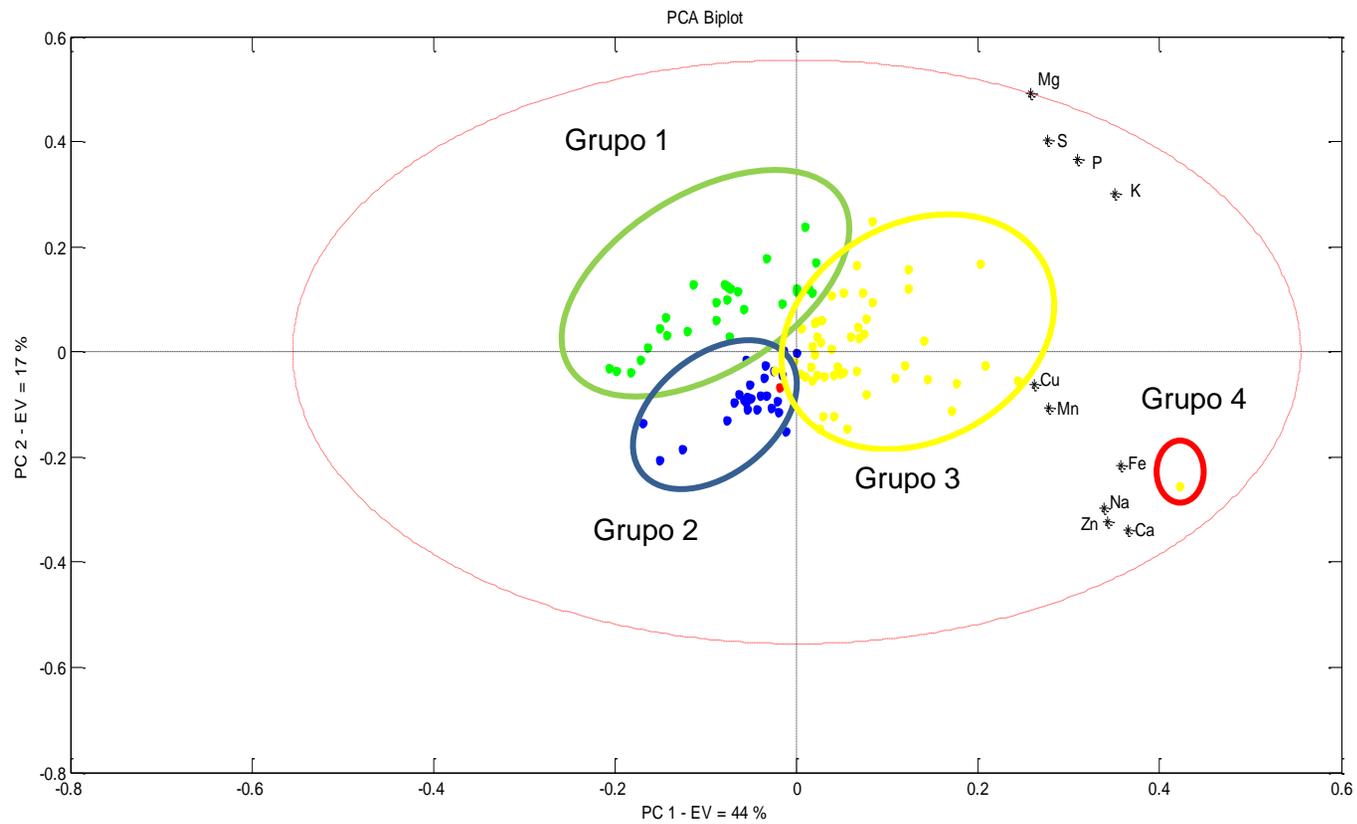
En el análisis de componentes principales se seleccionaron tres componentes bajo el criterio que tuvieran eigenvalores mayores o iguales que 1,0 (**anexo E**). Componentes con eigenvalores mayores o iguales a uno son los que tiene mayor varianza y explican la mayor cantidad de información. El primer componente explicó el 44,1% de la varianza, el segundo componente el 16,6% de la varianza y el tercer componente el 13,9%, en conjunto los tres componentes explican 74,5% de la variabilidad de los datos. En el biplot (**Figura 2-10**) se pueden sobreponer los genotipos (puntos) y las variables (vectores) permitiendo establecer las relaciones ente genotipos y variables. Para el componente uno las variables que mayor aporte realizaron son el contenido de Ca (0,37), Fe (0,36), potasio (0,35), Zn (0,34) y Na (0,34), para el segundo componente se pudieron distinguir que las variables con mayor aporte son los contenidos de Mg (0,49), azufre (-0,40) y fosforo (0,37), estas variables son las que mejor permiten separar y discriminar los genotipos por el contenido de los minerales y explican la mayor variabilidad de los datos. En el biplot se pudieron distinguir cuatro grupos de genotipos, a diferencia del análisis de clusters el genotipo CCC-128 (punto rojo en el biplot) se agrupo dentro del grupo dos y en el

grupo 4 solo se ubicó un genotipo (CCC-128) que es un genotipo que presenta la mayor relación con el contenido de Fe, Ca, Na y Zn. Los genotipos del grupo tres se ubican en dirección de todos minerales, lo que sugiere que este grupo se relacionan con mayor contenido de minerales.

**Figura 2-9:** Dendograma para el contenido mineral en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.



**Figura 2-10:** Biplot para el contenido mineral en 118 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja (colección de trabajo de la Universidad Nacional de Colombia, cultivares nativos y cultivares comerciales) y 2 genotipos de *S. tuberosum* ssp *tuberosum* (Diacol Capiro y Patusa Suprema) de papa cocida.



La **Tabla 2-5** muestra las correlaciones de Pearson, entre las variables para el contenido de minerales. El rango de estos coeficientes de correlación puede ir de -1 a +1, y miden la fuerza de la relación lineal entre las variables. Se encontraron correlaciones significativas positivas con ( $p \leq 0,05$ ) entre la mayoría de los minerales, lo que indica que cuando la concentración de un mineral aumenta, las concentraciones de otros los minerales también aumentan. Se puede resaltar las correlación entre hierro y zinc (0,49), Burgos et al. (2007) indicaron que la correlación entre la Fe y Zn puede variar dependiendo de la región geográfica: 0,52 (Inyaya, Perú) y 0,54 (Aymara, Perú). La correlación entre P y K (0,65) en la papa se considera que es debido al potencial oxidativo de la planta, mediado por el ácido ascórbico (Haase, Schöler, y Hess, 2007; Pietrzyk et al, 2013). La correlación de Ca con Fe (0,64) y de Ca con Zn (0,72). Otros autores han reportado valores de correlaciones entre el Ca y minerales traza (Andre et al., 2007; Rivero et al., 2003).

**Tabla 2-5** :Correlaciones de Pearson para el contenido mineral.

	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>
<b>K</b>		<b>0,42</b>	<b>0,56</b>	<b>0,35</b>	<b>0,65</b>	<b>0,47</b>	<b>0,40</b>	<b>0,33</b>	<b>0,42</b>	<b>0,30</b>
<b>Ca</b>	<b>0,42</b>		<b>0,25</b>	<b>0,63</b>	<b>0,25</b>	0,16	<b>0,64</b>	<b>0,72</b>	<b>0,52</b>	<b>0,30</b>
<b>Mg</b>	<b>0,56</b>	<b>0,25</b>		0,12	<b>0,49</b>	<b>0,54</b>	<b>0,28</b>	0,03	<b>0,40</b>	0,11
<b>Na</b>	<b>0,35</b>	<b>0,63</b>	0,12		<b>0,30</b>	<b>0,29</b>	<b>0,51</b>	<b>0,62</b>	<b>0,34</b>	<b>0,42</b>
<b>P</b>	<b>0,65</b>	<b>0,25</b>	<b>0,49</b>	<b>0,30</b>		<b>0,51</b>	<b>0,30</b>	<b>0,38</b>	0,16	<b>0,34</b>
<b>S</b>	<b>0,47</b>	0,16	<b>0,54</b>	<b>0,29</b>	<b>0,51</b>		<b>0,27</b>	<b>0,30</b>	0,09	<b>0,39</b>
<b>Fe</b>	<b>0,40</b>	<b>0,64</b>	<b>0,28</b>	<b>0,51</b>	<b>0,30</b>	<b>0,27</b>		<b>0,49</b>	<b>0,70</b>	<b>0,28</b>
<b>Zn</b>	<b>0,33</b>	<b>0,72</b>	0,03	<b>0,62</b>	<b>0,38</b>	<b>0,30</b>	<b>0,49</b>		0,18	<b>0,55</b>
<b>Mn</b>	<b>0,42</b>	<b>0,52</b>	<b>0,40</b>	<b>0,34</b>	0,16	0,09	<b>0,70</b>	0,18		0,04
<b>Cu</b>	<b>0,30</b>	<b>0,30</b>	0,11	<b>0,42</b>	<b>0,34</b>	<b>0,39</b>	<b>0,28</b>	<b>0,55</b>	0,04	

Valores en negrilla indican correlaciones significativamente diferentes de cero, con  $p \leq 0,05$

## 2.4 Conclusiones y recomendaciones

### 2.4.1 Conclusiones

Se obtuvo una alta variabilidad para el contenido mineral en el germoplasma colombiano de papa diploide. En general, los genotipos pertenecientes a la colección de trabajo de papa diploide de la Universidad Nacional de Colombia y los cultivares nativos recolectados en el Departamento de Nariño presentaron un contenido de potasio entre 1420,0 a 3650 mg/100 g BS, calcio de 11,4 a 196,5 mg/100g BS, fósforo de 121,7 a 420,0 mg/ 100g BS, hierro de 1,3 a 6,5 mg/100g BS y zinc de 1,4 a 5,8 mg/100g BS.

Los genotipos con mayor contenido de potasio, calcio, fosforo, hierro y zinc se pudieron discriminar y agrupar por análisis de clusters y análisis de componentes principales en un grupo compuesto por 49 genotipos de la CCC, CN-42 y Criolla Paisa.

Un servicio de 110 gramos de papa cocida del genotipo 23 de la colección de trabajo de papa diploide de la Universidad Nacional de Colombia puede proporcionar para mujeres hasta el 6,7%, 7,0% y 22,5% de los requerimientos diarios de calcio, hierro y zinc, respectivamente. Para hombre aporta 6,7%, 14,6% y 12,9% del requerimiento diario de calcio, hierro y zinc, respectivamente, para un rango de edad de 19-50 años.

### 2.4.2 Recomendaciones

Determinar el contenido de minerales en cáscara y en pulpa.

Contrastar los valores del contenido de minerales con características de rendimiento y resistencia *Phytophthora infestans*.

### 3. Actividad antioxidante y compuestos fenólicos en papa

#### Resumen

Los tubérculos de papa contienen metabolitos secundarios los cuales pueden actuar como antioxidantes. Los metabolitos secundarios de la papa se ven afectados por los procesos de cocción necesarios para su consumo. Por lo cual el objetivo de este trabajo fue determinar la capacidad antioxidante y metabolitos secundarios en extractos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja después de ser sometidos a un proceso de cocción en agua hirviendo. Se evaluó el contenido de fenoles totales, flavonoides totales, los ácidos hidroxicinámicos: clorogénico, *cripto*-clorogénico, *neo*-clorogénico y caféico y la actividad antioxidante (AA) por diferentes métodos (ABTS, FRAP, DPPH y estrés oxidativo en levaduras) de diez variedades de papa cultivadas en Colombia. La variedad Criolla Dorada mostró el mayor contenido de fenoles totales (556,9 mg de ácido gálico en base seca (BS)) y AA por ABTS (54,6  $\mu\text{mol}$  trolox/g BS), mientras el cultivar Criolla Suapa presentó el mayor contenido de flavonoides totales (87,5  $\mu\text{g}$  kaempferol/100 g de papa BS, ó 48,8  $\mu\text{g}$  mirecetin/100 g de papa BS) y AA FRAP (17,6  $\mu\text{mol}$  trolox/g BS o 43,2  $\mu\text{mol}$   $\text{FeSO}_4$ /g BS.). La AA por DPPH fue mayor para Criolla Ocarina (35,4  $\mu\text{mol}$  trolox/g BS). Entre los ácidos hidroxicinámicos evaluados el ácido clorogénico estuvo presente en mayor concentración en todas las variedades analizadas, con un intervalo entre 34,4 a 173,5 mg/100 g BS. La actividad antioxidante por método biológico de crecimiento de levaduras sometidas a estrés oxidativo mostro un mejor perfil de crecimiento de las levaduras que contenían el extracto de vitamina C (control positivo) seguido de Criolla Suapa. La evaluación de la AA en los cultivares que actualmente consumen los

colombianos muestra que el consumo de papa en la dieta puede traer efectos positivos en la salud al disminuir el riesgo de padecer enfermedades degenerativas.

**Palabras Claves:** Compuestos fenólicos, actividad antioxidante, ácidos hidroxicinámicos, variedades de papa.

### 3.1 Introducción

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas que se producen a través de la vía fenilpropanoide (Navarre, Payyavula, Shakya, Knowles, & Pillai, 2013; Vogt, 2010). Este tipo de compuestos constituye un amplio grupo de sustancias químicas que pueden tener actividad biológica. Los compuestos fenólicos pueden estar compuestos de uno o más anillos aromáticos. Algunos ejemplos van desde las sustancias aromáticas más simples como los monofenoles tales como el 3-etilfenol y 3,4-dimetilfenol, a otros grupos, como el grupo de los ácidos hidroxicinámicos (que incluye el ácido clorogénico y sus isómeros y el ácido caféico), los flavonoides y sus glucosidos (Burgos et al., 2013).

Cada vez hay más pruebas que permiten afirmar que la presencia de compuestos fenólicos en la dieta de las personas se asocia a un menor riesgo de padecer enfermedades degenerativas (Arun et al., 2015), ya que actúan como antioxidantes en el cuerpo. La presencia de los compuestos fenólicos está estrechamente asociada con la actividad antioxidante (AA) de los alimentos. La AA describe la capacidad de las moléculas redox en los alimentos y sistemas biológicos para eliminar los radicales libres teniendo en cuenta los efectos acumulativos y sinérgicos de los antioxidantes en lugar del efecto de los compuestos individuales (Alam, Bristi, & Rafiquzzaman, 2013). La medida de la AA puede, por lo tanto, ser útil para estudiar los potenciales beneficios antioxidantes de los alimentos (Chellaram et al., 2014; Chirinos, Pedreschi, Rogez, Larondelle, & Campos, 2013).

Entre las fuentes dietéticas de compuestos fenólicos la papa es de particular interés, ya que es un cultivo altamente consumido en el mundo (Bonierbale, Zapata, Felde, & Sosa, 2010; Ezekiel, Singh, Sharma, & Kaur, 2013; Lovat, Nassar, Kubow, Li, & Donnelly, 2015). Los compuestos fenólicos predominantes en la papa (principalmente en la cáscara) son el ácido clorogénico y sus isómeros, el ácido cafeico, y ácido ferúlico (Albishi, John, Al-

Khalifa, & Shahidi, 2013; André et al., 2009; Deußer, Guignard, Hoffmann, & Evers, 2012). Las antocianinas con glucocidos acilados de pelargornidina están presentes en cantidades sustanciales en las papas de color rojo y púrpura (Burgos et al., 2013; Perla, Holm, & Jayanty, 2012).

La tabla de composición de alimentos Colombianos y en las investigaciones de los cultivares comerciales de papa colombiana no existen datos publicados acerca del contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. Siendo la papa uno de los alimentos predominantes en el patrón de consumo de los colombianos, este estudio quiso determinar la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos en 8 cultivares de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) y dos cultivares de papa de año (*Solanum tuberosum* ssp *tuberosum*).

## 3.2 Materiales y métodos

### 3.2.1 Material vegetal y preparación de la muestra

Se analizaron los ocho cultivares comerciales de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) que están registrados en Colombia: Criolla Colombia, Criolla Guaneña, Criolla Paisa, Criolla Latina, Criolla Galeras, Criolla Dorada, Criolla Suapa, Criolla Ocarina y dos cultivares comerciales de papa de año (*Solanum tuberosum* spp. *tuberosum*): Diacol Capiro (mayor demanda a nivel a industrial) y Pastusa Suprema (uno de los cultivares más consumidos en fresco y con buena resistencia a *P. infestans*).

Los cultivares de papa criolla fueron obtenidos de una siembra realizada en Facatativa, Cundinamarca, en la finca productora Splendor (2650 msnm, 4,0°48,0' 53,0" norte y 74,0°21,0' 19,0" oeste). Los tubérculos fueron sembrados en septiembre de 2012 y cosechados en enero de 2013. Los tubérculos de papa de año se adquirieron en un supermercado en la ciudad de Bogotá en Junio del 2013. Los tubérculos Criolla Dorada, Criolla Suapa y Criolla Ocarina fueron variedades registradas y lanzadas para producción comercial en la región de Nariño en el año 2014. Estas tres variedades nuevas

comerciales corresponden a los clones avanzados CA-04, CA-59 y CA-64 respectivamente y se cultivaron en Obonuco, Nariño Colombia (1,0° 11,0' norte y 77,0° 18,0' oeste y 2,871msnm). Este tipo de tubérculos se sembró en mayo de 2012 y fueron cosechados en septiembre de 2012.

Los tubérculos de las diez variedades comerciales se lavaron con agua destilada y se sometieron a un proceso de cocción de acuerdo con lo presentado en la Tabla 1-1. Después los tubérculos se enfriaron en un baño de hielo durante 5 min y se dejaron secar a temperatura ambiente. Los tubérculos con cáscara se cortaron en rebanadas, se congelaron en nitrógeno líquido y se almacenaron a -80°C. El material congelado se liofilizó y se molió hasta que pasara por una malla con un tamaño de partícula de 0,2 mm. Las muestras liofilizadas y molidas se guardaron en bolsas de polietileno y se almacenaron en un desecador a temperatura ambiente hasta su uso, protegiéndolas de la luz.

### **3.2.2 Extractos**

Se siguió la metodología propuesta por Narváez-Cuenca et al. (2013). Se pesaron 50 mg de liofilizado en tubo eppendorf de 2 mL y se adiciono 1,0 mL de una mezcla metanol / agua (50:50, v / v) que contenía ácido acético (0,5% v / v), se agitó en orbital shaker a 1000 rpm durante 10 min a 4,0 °C y se centrifugó a 22.000 x g durante 5 minutos a 4,0 °C. El sobrenadante se reservó y el pellet fue sometido a una nueva extracción en condiciones idénticas a las descritas justo arriba. En total se hicieron cinco extracciones sobre la misma muestra. Al final de las extracciones los cinco sobrenadantes se mezclaron. El extracto se pasó por filtros de nylon para jeringa con tamaño de poro de 0,2  $\mu$ m, se burbujeó nitrógeno gaseoso y se almacenó a -80°C hasta su posterior análisis. Esto se realizó por triplicado para cada material.

### 3.2.3 Métodos

**Fenoles totales:** Los fenoles totales fueron cuantificados mediante el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu descrito por Restrepo-Sánchez *et al.* (2009) y Thaipong *et al.* (2006). A 750,0 µL del reactivo de Folin Ciocalteu diluido al 10% en agua, se le adicionaron 100,0 µL de los extractos de los compuestos antioxidantes o del patrón y se incubó a temperatura ambiente durante 5 min, luego se adicionaron 750,0 µL de una solución de carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) al 6% en agua, se agitó y se dejó en reposo durante 90 minutos a temperatura ambiente en condiciones de oscuridad y se midió la absorbancia a 765 nm. La curva de calibración se realizó con patrones de ácido gálico con concentraciones finales entre 0 y 10 mg/mL en agua (**Anexo F**). La concentración de fenoles libre se expresó como mg/100g de papa BS. Todo el procedimiento fue realizado en condiciones de oscuridad (Espinal, 2010; Restrepo-Sánchez, 2009)

**Flavonoides totales:** A 250,0 µL de los extractos de los compuestos antioxidantes o del patrón, se le adicionaron 750,0 µL de etanol al 96% y 50,0 µL de cloruro de aluminio al 10%, luego 100,0 µL de acetato de potasio (1,0M), 1,4 mL de agua destilada y desionizada. Se incubó a temperatura ambiente durante 30 min en condiciones de oscuridad y se midió la absorbancia a 415 nm. La curva de calibración se realizó con patrones de kaempferol y mirecetin con concentraciones finales entre 0 y 100 µg/mL en agua (**Anexo F**). La concentración de flavonoides totales libre se expresó como µg de Kaempferol ó Mirecetin/100g de papa BS. Todo el procedimiento fue realizado en condiciones de oscuridad (Hosu, Cristea, & Cimpoiu, 2014).

**Identificación y cuantificación UHPLC-DAD:** La identificación y cuantificación de ácidos hidroxicinámicos se realizó por cromatografía líquida de ultra alta eficiencia (UHPLC) con detector de arreglo de diodos (DAD). Para esto se siguió el método establecido por Narváez-Cuenca *et al.* (2013). Se empleó un equipo 3000 Dionex - UHPLC (Dionex, Sunnyvale, CA, USA) equipado con una bomba, un automuestreador y un DAD. Se utilizó una columna Hypersil gold PR-C18 (Thermo Scientific; 150 mm x 2,1 mm; 1,9 µm de tamaño de partícula) con una pre columna (Thermo Scientific; 10 mm x 2 mm x 3 m). La temperatura de la precolumna y la columna se fijó en 30 °C. El volumen de inyección fue 5,0 µL. Los eluyentes utilizados fueron agua /acetonitrilo/ ácido acético (99: 1: 0,1, v / v /

v) (eluyente A) y ácido acetonitrilo / ácido acético (100: 0,1, v / v) (eluyente B). El programa de elución fue: 0-5 min, 0% de B; 5-23 min, 0-60% de B; 23-24 min, 60-100%B; 24-27 min, 100% B; 27-28 min, 100-0% de B; 28-35 min, 0% B. El flujo fue de 400  $\mu$ L / min. Los compuestos se identificaron comparando el tiempo de retención y los datos espectrales UV-vis con los de los estándares. Los estándares empleados fueron el ácido clorogénico (ácido trans-5-O-cafeoilquínico) ácido *neo*-clorogénico (ácido trans-3-O-cafeoilquínico), ácido *cripto*-clorogénico (ácido trans-5-O-cafeoilquínico), y ácido cafeico (ácido 3,4-dihidroxicinámico). La cuantificación se realizó por UHPLC / DAD utilizando una curva de calibración con soluciones estándar en la mezcla (**Anexo F**) con los patrones de ácido *neo*-clorogénico, ácido clorogénico, y ácido cafeico, los intervalos de las curvas de concentraciones de los estándares fueron de 0,25 a 10,0  $\mu$ g/mL ( $R^2 \geq 0,998$ ). El ácido *cripto*-clorogénico se cuantificó con la curva de calibración del ácido clorogénico. Los resultados se expresaron como mg/100g de papa BS.

**Método ABTS:** Se preparó una solución de ABTS 7,0mM y persulfato de potasio 2,5 mM en agua se agito a 4 °C durante 16 h en oscuridad para generar el catión radical ABTS<sup>+</sup>. Se realizó una dilución de esta solución con etanol hasta obtener una absorbancia de 0,700 a 734 nm. Luego 1000,0  $\mu$ L de esta disolución de ABTS<sup>+</sup> se incubaron a 30°C durante 5 min y se midió la absorbancia inicial a 734 nm. Para construir la curva de calibración (**anexo F**) se adicionaron 10,0  $\mu$ L de soluciones de Trolox en etanol entre 0 y 1500 mM a la solución de ABTS<sup>+</sup>, se incubo a 30°C durante 6 min y se midió la absorbancia final a 734 nm. La medida de la actividad antioxidante de las muestras se realizó incubando 1000,0 mL de la solución de trabajo de ABTS<sup>+</sup> a 30 °C durante 5 min y se midió la absorbancia inicial a 734 nm. Se adiciono 10,0 mL de del extracto de los compuestos antioxidantes de las muestras y se incubo a 30 °C. Se tomaron medidas de absorbancia a 734 nm cada 10 min, hasta llegar a una lectura constante de absorbancia final. Todo el procedimiento fue realizado en oscuridad. Se calculó la reducción de la concentración de ABTS<sup>+</sup> ocasionada por el antioxidantes como  $\Delta A_{734nm} = A_{inicial\ 734nm} - A_{final\ 734nm}$ . La actividad antioxidante fue expresada como la capacidad antioxidante equivalente al Trolox (TEAC) expresada como  $\mu$ Mol Trolox/g papa en base seca (BS) (Restrepo-Sánchez, 2009; Thaipong, Boonprakob, Crosby, Cisneros-Zevallos, & Hawkins Byrne, 2006).

**Método FRAP:** El reactivo de FRAP se preparó mezclando 2,5 mL de una solución de TPTZ 10 mM preparada en HCl 40 mM con 2,5 mL de FeCl<sub>3</sub> 20 mM en agua. Se agitó hasta obtener una solución azul y se adicionaron 25 mL de buffer acetatos 300 mM pH 3,6. 900,0 µL del reactivo de FRAP se incubaron a 37 °C durante 4 min y se midió la absorbancia inicial a 593 nm. Para construir las curvas de calibración se emplearon Trolox y FeSO<sub>4</sub> (**anexo F**) se adicionaron 90,0 µL de agua y 30,0 µL de soluciones de Trolox en etanol o FeSO<sub>4</sub> en agua entre 0 y 1500 mM al reactivo de FRAP, se incubó a 37 °C durante 4 min y se midió la absorbancia final a 593 nm. La medida de la actividad antioxidante de las muestras se realizó incubando 900 µL del reactivo de FRAP a 37 °C durante 4 min y se midió la absorbancia inicial a 593 nm. Se adicionaron 90 µL de agua y 30 µL del extracto de los compuestos antioxidantes y se incubó a 37 °C. Se tomaron medidas de absorbancia a 593 nm cada 10 minutos hasta llegar a una lectura constante para obtener la absorbancia final. Todo el procedimiento fue realizado en oscuridad. Se calculó el aumento de la concentración del TPTZ-Fe<sup>+2</sup> ocasionada por el antioxidante como  $\Delta A_{593nm} = A_{Final\ 593nm} - A_{Inicial\ 593nm}$ . La actividad antioxidante fue expresada como la capacidad antioxidante equivalente al Trolox (TEAC) y al FeSO<sub>4</sub> expresada como µMol Trolox/g fruta y µMol FeSO<sub>4</sub>/g papa BS (Espinal, 2010).

**Método DPPH:** Se preparó una solución de DPPH 0,1 mM en etanol con una absorbancia a 515 nm de 1,100. 975 µL de esta solución se incubaron a temperatura ambiente durante 7 min y se midió la absorbancia inicial a 515 nm. Para construir la curva de calibración (**anexo F**) se adicionaron 25 µL de soluciones de Trolox en etanol entre 0 y 500 mM a la solución de DPPH, se incubó a temperatura ambiente durante 7 min y se midió la absorbancia final a 515 nm. La medida de la actividad antioxidante de las muestras se realizó incubando 975,0 µL de la solución de DPPH a temperatura ambiente durante 7 min y se midió la absorbancia inicial a 515 nm. Se adicionaron 25 µL del extracto etanólico de compuestos antioxidantes y se incubó a temperatura ambiente. Se tomaron medidas de absorbancia a 515 nm cada 10 min durante hasta llegar a una lectura constante para obtener la absorbancia final. Todo el procedimiento fue realizado protegiéndose de la luz. Se calculó el porcentaje de inhibición del DPPH ocasionada por el antioxidante así:

$$\%InhibiciónDPPH = \frac{A_{Inicial\ 515nm} - A_{Final\ 515\ nm}}{A_{Inicial\ 515\ nm}} \times 100$$

La actividad antioxidante fue expresada como la capacidad antioxidante equivalente al Trolox (TEAC) expresada como  $\mu\text{mol}$  Trolox/g papa BS (Espinal, 2010; Restrepo-Sánchez, 2009; Thaipong et al., 2006).

**Ensayo de estrés oxidativo sobre la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*):** La actividad antioxidante de los extractos de los compuestos fenólicos de papa sobre el crecimiento de una cepa de levadura sometida a estrés oxidativo con  $\text{H}_2\text{O}_2$  fue realizada mediante el método establecido por Belinha et al., (2007) y Espinal (2010). Se empleó medio de cultivo YPD (yeast-peptone- D (+) glucose) preparado con 95,0% de agua mQ, 2,0% D(+)glucosa, 2% Peptona y 1,0% extracto de lavadura. El medio fue esterilizado en autoclave. Primero se tomó un inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* en fase solida con asa de platino y se inóculo en 5,0 mL en YPD estéril, se incubó (30°C, 40 rpm y 6 h). 80,0  $\mu\text{L}$  del inóculo se le adicionaron 720,0  $\mu\text{L}$  de YPD (dilución 1:10) y se midió la densidad óptica (D.O.) a 595 nm en un lector de placa (modelo 680XR, Bio-Rad laboratorios, Hércules, CA, Estados Unidos), el blanco de las lecturas fue medio de cultivo YPD. Conociendo la D.O., se calculó el volumen del cultivo celular a usar para inocular las muestras así:

$$V(\mu\text{L}) = \frac{(5,0 \text{ mL})(1000)}{(D.O. 595 \text{ nm})(4096)}$$

Se prepararon muestras con un control positivo (ácido ascórbico) y de los extractos de papa con una concentración final de 20  $\mu\text{g}/\text{mL}$  en 5,0 mL de medio de cultivo estéril YPD y se le adiciono el volumen de cultivo celular obtenido anteriormente y se incubo (30°C, 40 rpm y 17 h). Después de la incubación, a 80,0  $\mu\text{L}$  de las muestras se les adiciono 720,0  $\mu\text{L}$  de YPD estéril (dilución 1:10) y se midió la D.O. a 595nm para calcular el volumen de las muestras concentradas a usar en la cuantificación del crecimiento celular así:

$$V(\mu\text{L}) = \frac{(4,0 \text{ mL})(50000)}{(D.O. 595 \text{ nm})(10)(4096)}$$

En tubos estériles de 15,0 mL (muestras finales) se adicionó el volumen del cultivo celular calculado para cada una de las muestras concentradas y se llevó a un volumen final de 4,0 mL de YPD estéril, para obtener muestras de células con una D.O. 595 inicial cerca de

0,100. La cuantificación del crecimiento celular se realizó en placas de Elisa multipocillos (96 pocillos) se adicionaron 230,0  $\mu\text{L}$  de las muestras finales y se incubo ( $30^{\circ}\text{C}$ , 4,5 h) y se tomaron lecturas cada 30 min. Una vez las muestras alcanzaron una D.O a 595 nm de 0,300 (inicio de la fase de latencia), se les indujo estrés oxidativo mediante la adición de 20,0  $\mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  1,0 mM en agua mQ estéril y un control negativo sin adición de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , y se continuo incubando ( $30^{\circ}\text{C}$ , 40 rpm) y tomando lecturas a D.O 595 nm.

### 3.2.4 Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como el promedio de tres repeticiones y su desviación estándar. Se realizó un análisis de varianza para determinar si habían diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre los genotipos por la concentración de compuestos o la actividad antioxidante, en el caso de presentarse diferencias significativas se aplicó una prueba de tukey con ( $p \leq 0,05$ ) para establecer cuales genotipos eran diferentes y se indicó con letras. Se determinaron las correlación de Pearson entre el contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante ( $p < 0,05$ ). Para la actividad antioxidante por los métodos químicos in vitro se realizó un análisis de componentes principales. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando Statgraphics Centurión versión XVI (Statgraphics Centurión XVI, 2010) y Matlab versión R2009b (Mathworks®, Natick, Massachusetts, USA).

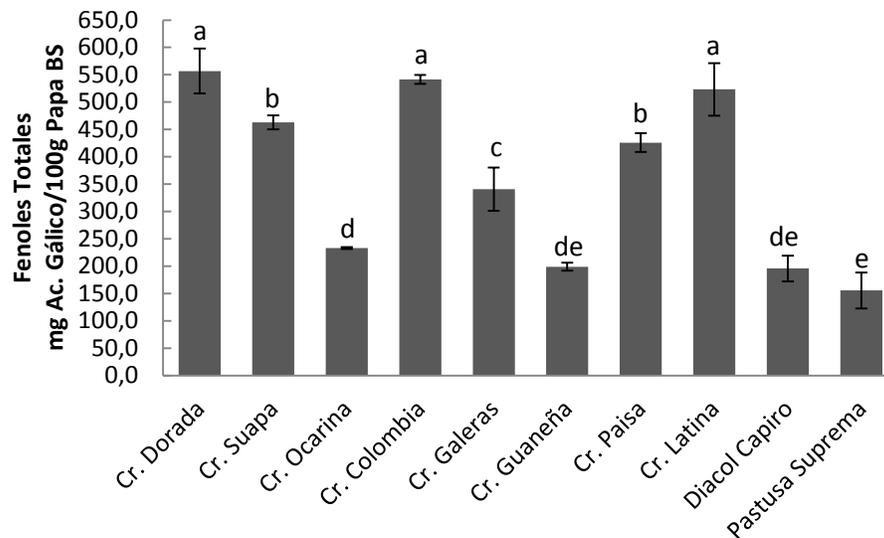
## 3.3 Resultados y discusión

### 3.3.1 Contenido de fenoles totales

El contenido de fenoles totales vario significativamente ( $p \leq 0,05$ ) en los extractos de papa (**Figura 3-2**). Los resultados indican que el extracto de Criolla Dorada (556,9 mg Ac. gálico/100g de papa BS) presentó el mayor contenido de fenoles totales entre todas las variedades analizadas, seguido por Criolla Colombia (541,3 mg Ac. gálico/100g de papa BS), mientras los menores contenidos se hallaron en los dos cultivares de papa de año: Diacol Capiro (195,7 mg Ac. gálico/100g de papa BS) y Pastusa Suprema (155,7 mg Ac.

gálico/100g de papa BS). Estos valores son comparables con lo reportado en la literatura para fenoles totales en papa (André et al., 2009). También se ha señalado mayor concentración de compuestos fenólicos totales en papa cocida que en papa cruda (Burgos et al., 2013), así como mayor concentración de los compuestos fenólicos en la cáscara del tubérculo (Chellaram et al., 2014; Deußer et al., 2012). La variación genotípica es el factor predominante que afecta a los contenidos compuestos fenólicos en comparación con otros parámetros tales como la ubicación y la época del año en papa (Ji et al., 2012).

**Figura 3-1:** Contenido de fenoles totales en diez variedades comerciales de papa.



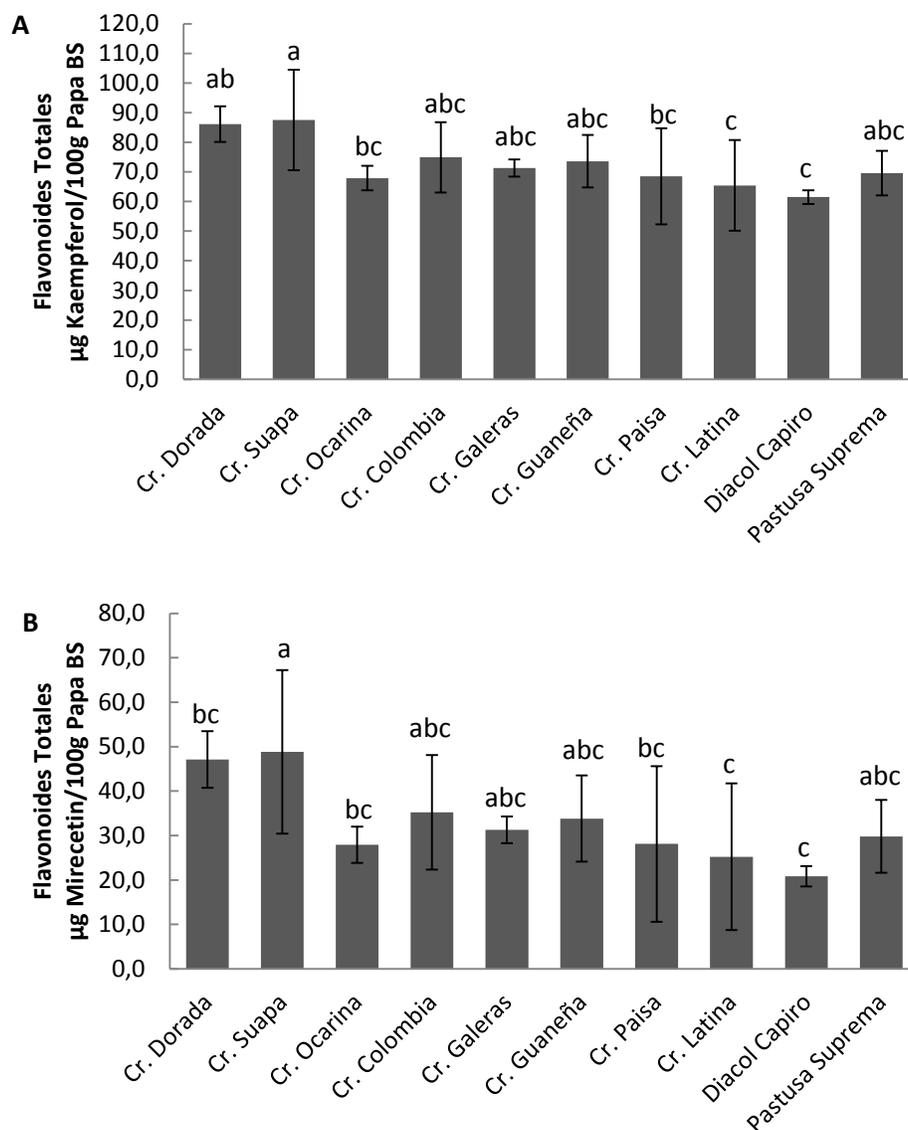
Las barras verticales representan la desviación estándar y letras diferentes diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.3.2 Flavonoides totales

En la **figura 3-2** se observa que el contenido de flavonoides totales expresados como Kaempferol y Mirecetin vario significativamente ( $p \leq 0,05$ ) entre los cultivares evaluados Criolla Suapa (87,5  $\mu\text{g}$  Kaempferol/100g de papa BS o 48,8  $\mu\text{g}$  Mirecetin/100g de papa BS) presentó el mayor contenido de flavonoides totales entre todas las variedades analizadas, mientras el menor contenido se halló en Diacol Capiro (61,5  $\mu\text{g}$  Kaempferol/100g de papa BS o 20,8  $\mu\text{g}$  Mirecetin/100g de papa BS). Los valores encontrados en este estudio son inferiores a lo reportado en papa con tonos morados o

rosados en la pulpa o piel (Perla et al., 2012). Los flavonoides, en orden de abundancia en tubérculos de papa, se ha informado que son la catequina, epicatequina, erodictyol, kaempferol y naringenina (Zaheer & Akhtar, 2014). Se ha indicado una disminución del contenido de flavonoides al someterse a un proceso de cocción, sin embargo se ha reportado que el método que causa menor disminución es el de hervir los tubérculos (Perla et al., 2012).

**Figura 3-2:** Contenido de flavonoides totales en tubérculos de diez variedades comerciales de papa. **A-** expresado en  $\mu\text{g}$  Kaempferol/100g de papa base seca (BS). **B-** expresado en  $\mu\text{g}$  Mirecetin/100g de papa BS

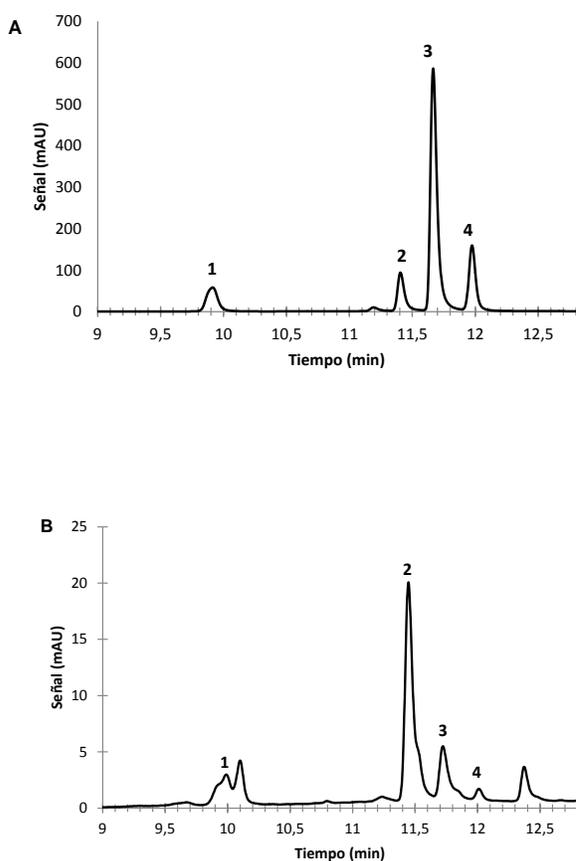


Las barras verticales representan la desviación estándar y letras diferentes diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

### 3.3.3 Ácidos hidroxicinámicos

Se realizó la identificación de los compuestos por comparación de los tiempos de retención. Los perfiles cromatográficos a 325 nm se observan en la **figura 3-3**, el método desarrollado permitió la separación de los compuestos de interés y los tiempos de retención para los estándares: ácido *neo*-clorogénico, ácido clorogénico, ácido *cripto*-clorogénico y ácido cafeico, y fueron, 9,95, 11,42, 11,68 y 11,98, respectivamente.

**Figura 3-3:** Perfiles cromatográficos a 325 nm de ácidos hidroxicinámicos **A-** mezcla de patrones a 7,5 ppm. **B-** Criolla Colombia.



(1) Ácido *Neo*-clorogénico, (2) Ácido Clorogénico, (3) Ácido *cripto*-clorogénico y (4) Ácido Cafeico.  
**Condiciones cromatográficas:** Columna Hypersil RP-18. Flujo de 400  $\mu$ L/min, fase móvil: solvente A: Agua, Acetonitrilo, Ácido acético (99:1:0,1 v:v:v) Solvente B: Acetonitrilo /agua (100:0.1 v:v) con un gradiente de elución: 0-5 min, 0 % de B; 5-23 min, 60 % B; 23-24 min, 60-100 % de B; 24-27 min, 100 % B; 27-28 min, 100-0 % de B; 28-35 min. Volumen de inyección: 5  $\mu$ L. Detección a 325 nm con detector de arreglo de diodos.

Existen variaciones significativas ( $p \leq 0,05$ ) en las concentraciones de ácido *neo*-clorogénico, ácido *cripto*-clorogénico, ácido clorogénico, y ácido cafeico para los 10 cultivares comerciales de papa evaluados (**Tabla 3-1**). En todos las muestras evaluadas se pudieron identificar y cuantificar los cuatros ácidos hidroxicinámicos, siendo el ácido el ácido clorogénico el que presentó mayor concentración en comparación con los demás ácidos evaluados, como se ha reportado previamente en otros estudios en papa (André et al., 2009; Bonierbale et al., 2010; Burgos et al., 2013; Chellaram et al., 2014; Narváez-Cuenca, Vincken, Zheng, & Gruppen, 2013; Navarre, Pillai, Shakya, & Holden, 2011).

**Tabla 3-1:** Contenido de ácidos hidroxicinámicos en tubérculos de 10 variedades de papa cultivadas en Colombia. Se indica el promedio (en mg/100g en base seca  $\pm$  desviación estándar) de tres repeticiones.

	Ácido Clorogénico	Ácido <i>neo</i> -clorogénico	Ácido <i>cripto</i> -clorogénico	Ácido cafeico
Criolla Dorada	150,8 $\pm$ 7,9 ab	1,6 $\pm$ 0,1 b	15,3 $\pm$ 0,8 b	2,0 $\pm$ 0,1 e
Criolla Suapa	172,1 $\pm$ 13,4 ab	2,0 $\pm$ 0,2 b	21,5 $\pm$ 1,8 a	2,6 $\pm$ 0,1 f
Criolla Ocarina	81,0 $\pm$ 1,8 de	3,8 $\pm$ 0,2 a	23,5 $\pm$ 0,6 a	4,7 $\pm$ 0,1 b
Criolla Colombia	173,5 $\pm$ 7,7 a	1,2 $\pm$ 0,1 c	20,4 $\pm$ 4,9 a	2,5 $\pm$ 0,1 d
Criolla Galeras	96,5 $\pm$ 2,0 cd	0,2 $\pm$ 0,0 e	10,6 $\pm$ 2,2 cd	1,9 $\pm$ 0,0 f
Criolla Guaneña	62,5 $\pm$ 3,5 e	0,3 $\pm$ 0,1 de	8,2 $\pm$ 0,4 e	5,3 $\pm$ 0,3 c
Criolla Paisa	159,1 $\pm$ 8,1 ab	0,8 $\pm$ 0,7 cd	15,8 $\pm$ 0,7 b	8,4 $\pm$ 0,4 a
Criolla Latina	148,2 $\pm$ 33,7 b	0,3 $\pm$ 0,3 de	15,5 $\pm$ 4,0 b	2,2 $\pm$ 0,2 e
Diacol Capiro	34,4 $\pm$ 1,5f	0,5 $\pm$ 0,0 de	7,7 $\pm$ 0,1 e	2,2 $\pm$ 0,0 e
Pastusa Suprema	109,6 $\pm$ 23,1 c	0,2 $\pm$ 0,3 e	12,2 $\pm$ 1,3 bc	2,7 $\pm$ 0,1 d

Letras diferentes representan diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

El contenido de ácido clorogénico fue mayor para Criolla Colombia (173,5 mg/100g BS) y menor en Diacol Capiro (34,4 mg/100g BS). La concentración de ácido *cripto*-clorogénico estuvo entre un rango de 7,7 mg/100g BS (Diacol Capiro) a 23,5 mg/100g BS (Criolla Ocarina). El ácido *neo*-clorogénico estuvo en una concentración entre 0,2 mg/100g BS (Criolla Galeras y Pastusa Suprema) a 3,8 mg/100g BS (Criolla Ocarina). En el caso del ácido cafeico presento valores de 1,9 mg/100g BS (Criolla Galeras) a 8,4 mg/100g BS (Criolla Paisa).

En papa amarilla se reporta el contenido de ácido clorogénico por HPLC-DAD en 16,3 mg/100g BS en la cáscara del tubérculo y 7,9 mg/100g BS en la pulpa del tubérculo (Albishi et al., 2013), donde los valores de ácido clorogénico obtenidos en este estudio

para los cultivares de papa amarilla y blancas son mayores, sin embargo, son menores a los valores de ácido clorogénico en variedades con pulpa y/o cáscara de color morado: 307,4 mg/100g BS para la cáscara y 14,4 mg/100g BS para la pulpa (Albishi et al., 2013); en papas andinas de pulpa morada sometidas a un proceso de cocción también se indican valores altos de ácido clorogénico de 915 a 4525 mg/100g BS (Burgos et al., 2013). En la literatura se ha citado que la mayor concentración de ácidos fenólicos en la papa se encuentran en la cáscara (Bonierbale et al., 2010; Deußer et al., 2012; Ji et al., 2012), donde a nivel industrial en el procesamiento de papa suele ser un residuo y este podría ser utilizado en la formulación de alimentos ya que sus extractos podrían ser una fuente potencial de antioxidantes en sistemas alimentarios (Albishi et al., 2013), los extractos de la cascara de papa también se ha investigado por su potencial antidiabético (Arun et al., 2015).

En estudios de papas andinas se ha publicado valores para el ácido clorogénico entre 22,2 a 1274,6 mg/100 g BS, el ácido *cripto*-clorogénico de 2,3 a 76,8 mg/100g BS y el ácido *neo*-clorogénico de 0,9 a 15,0 mg/100g BS (André et al., 2009), al comparar estos rangos con los valores obtenido en este trabajo el contenido de ácido clorogénico y *cripto*-clorogénico se encuentran dentro de lo reportado, pero algunos de los valores de ácido *neo*-clorogénico hallados en los cultivares comerciales de papa colombiana son menores al rango reportado para papas andinas. Los contenido de ácido clorogénico de este estudio se encuentra en el rango reportado para papa por Navarre et al., (2011).

Deußer et al., (2012) cuantifico el contenido de ácido cafeico en tres zonas del tubérculo (cáscara, pulpa externa y pulpa interna) en 16 variedades de papa cultivadas en Luxemburgo, encontrando una alta variabilidad en el contenido de este ácido de 3,3 a 41,6 mg/100g BS en la cáscara, de  $2,0 \times 10^{-2}$  a 0,3 mg/100g BS en la pulpa externa y entre  $2,0 \times 10^{-2}$  a 0,1 mg/100g BS en la pulpa interna, siendo comparable con algunos valores para ácido cafeico en las variedades colombianas de papa investigadas.

### 3.3.4 Actividad antioxidante

La medición de compuestos con capacidad antioxidante, como los ácidos hidroxicinámicos de forma individual no permite conocer con certeza la capacidad antioxidante total de un alimento, compuesto o de un fluido biológico, por los efectos sinérgicos que puedan establecerse entre los antioxidantes presentes en él alimento, por lo cual, existen diferentes métodos que se han desarrollado para determinar la capacidad antioxidante total, son todos métodos de inhibición, donde se usa una especie generadora de radicales libres y una sustancia antioxidante del alimento inhibe la generación de estos radicales. Algunos de los métodos químicos que se emplean para determinar la capacidad antioxidante son el ABTS, DPPH y FRAP.

Al medir la actividad antioxidante (AA) por medio de ensayos in vitro por las metodologías de ABTS, DPPH y FRAP se encontró que variaron significativamente ( $p \leq 0,05$ ) entre los 10 cultivares comerciales de papa evaluados (**Figura 3-4**).

La AA por método de ABTS fue mayor para Criolla Dorada (54,6  $\mu\text{mol trolox/g BS}$ ) y Criolla Suapa (50,6  $\mu\text{mol trolox/g BS}$ ) y menor en Criolla Guaneña (4,1  $\mu\text{mol trolox/g BS}$ ). Estos valores en base humedad representan valores de 10,4 a 1,0  $\mu\text{mol trolox/g BH}$ , dentro de este rango se encuentra valores de actividad antioxidante de algunas frutas colombianas reportas en Contreras-Calderon et al.,(2011) como: el borojo (6,29  $\mu\text{mol trolox/g BH}$ ), manzana pera (8,92  $\mu\text{mol trolox/g BH}$ ) y copoasu (9,59  $\mu\text{mol trolox/g BH}$ ).

Por el método de DPPH la AA estuvo entre 2,2  $\mu\text{mol trolox/g BS}$  (Diacol Capiro) a 35,4  $\mu\text{mol trolox/g BS}$  (Criolla Ocarina). Los valores por el método DPPH presentan valores superiores que gulupa (2,0  $\mu\text{mol trolox/g BS}$ ) (Carvajal de Pabón et al., 2011). En base humedad el rango para la AA por DPPH para las variedades comerciales de papa colombianas estudiadas estuvo entre 0,5 a 8,5  $\mu\text{mol trolox/g BH}$  que es un rango inferior a lo reportado para guayaba (entre 16,2 a 32,0  $\mu\text{mol trolox/g BH}$ ) (Thaipong et al., 2006).

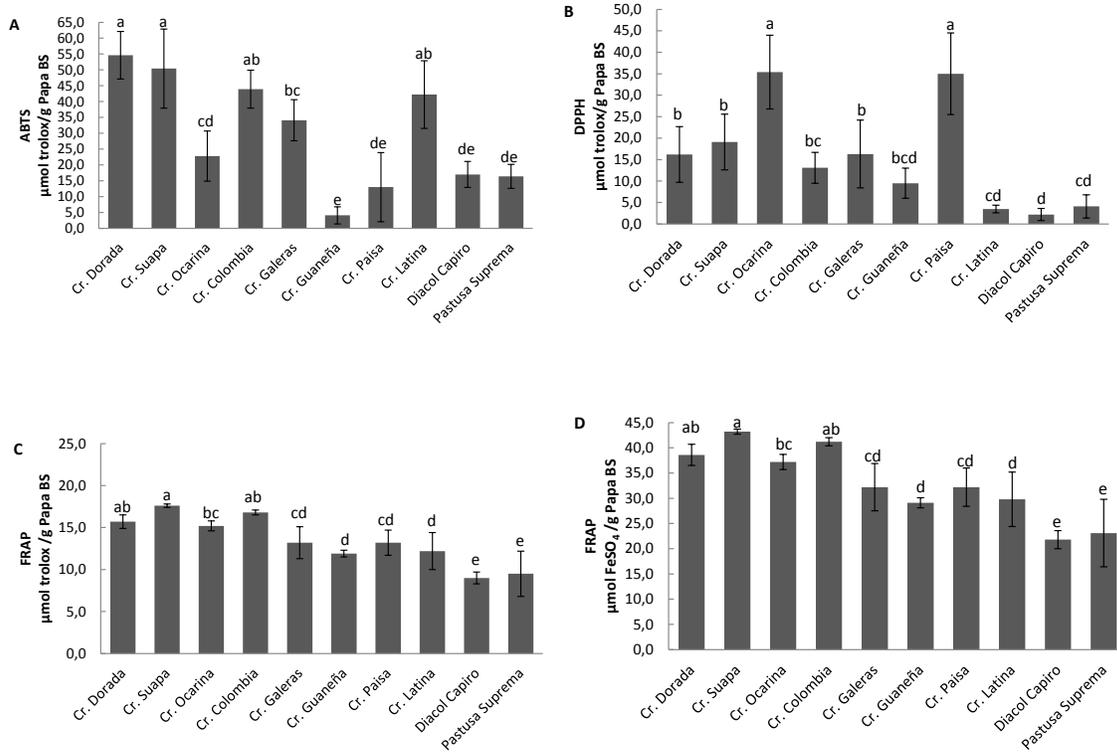
Al evaluar AA por el método FRAP estuvo entre un rango de 9,0  $\mu\text{mol trolox/g BS}$  (Diacol Capiro) a 17,6  $\mu\text{mol trolox/g BS}$  (Criolla Suapa) ó 21,8  $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g BS}$  (Diacol Capiro) a

43,2  $\mu\text{mol FeSO}_4/\text{g BS}$ . En base humedad el rango de la AA por el método FRAP fue de 1,9 a 3,6  $\mu\text{mol trolox/g BH}$  dentro de este rango se ha reportado actividad antioxidante de cajúa (3,2  $\mu\text{mol trolox/g BH}$ ) y zapote costeño (3,5  $\mu\text{mol trolox/g BH}$ ) (Contreras-Calderón, Calderón-Jaimes, Guerra-Hernández, & García-Villanova, 2011).

Los valores AA para ABTS y DPPH son comparables al rango reportado en cuatro papas andinas moradas de *Solanum Andigenum* sometidas a un proceso de cocción, donde se reporta para ABTS un rango de 0,3 a 62,9  $\mu\text{mol trolox/g BS}$  y para DPPH de 0,16 a 37,1  $\mu\text{mol trolox/g BS}$  (Burgos et al., 2013).

En harinas de papa de diferentes variedades se ha informado la AA por ABTS (15,0 - 36,1  $\mu\text{mol trolox/g BS}$ ), DPPH(7,1-22,6  $\mu\text{mol trolox/g BS}$ ) y FRAP(17,8- 29,5 $\mu\text{mol trolox/g BS}$ ) (Nemés et al., 2015), al comparar con los valores de este estudio algunos cultivares presentan valores menores de AA por el método de DPPH, por ejemplo los cultivares Criolla Latina (3,56  $\mu\text{mol trolox/g BS}$ ), Diacol Capiro(2,26  $\mu\text{mol trolox/g BS}$ ) y Patusa Suprema (4,16  $\mu\text{mol trolox/g BS}$ ).

**Figura 3-4:** Actividad antioxidante en tubérculos de 10 variedades de papa cultivadas en Colombia.

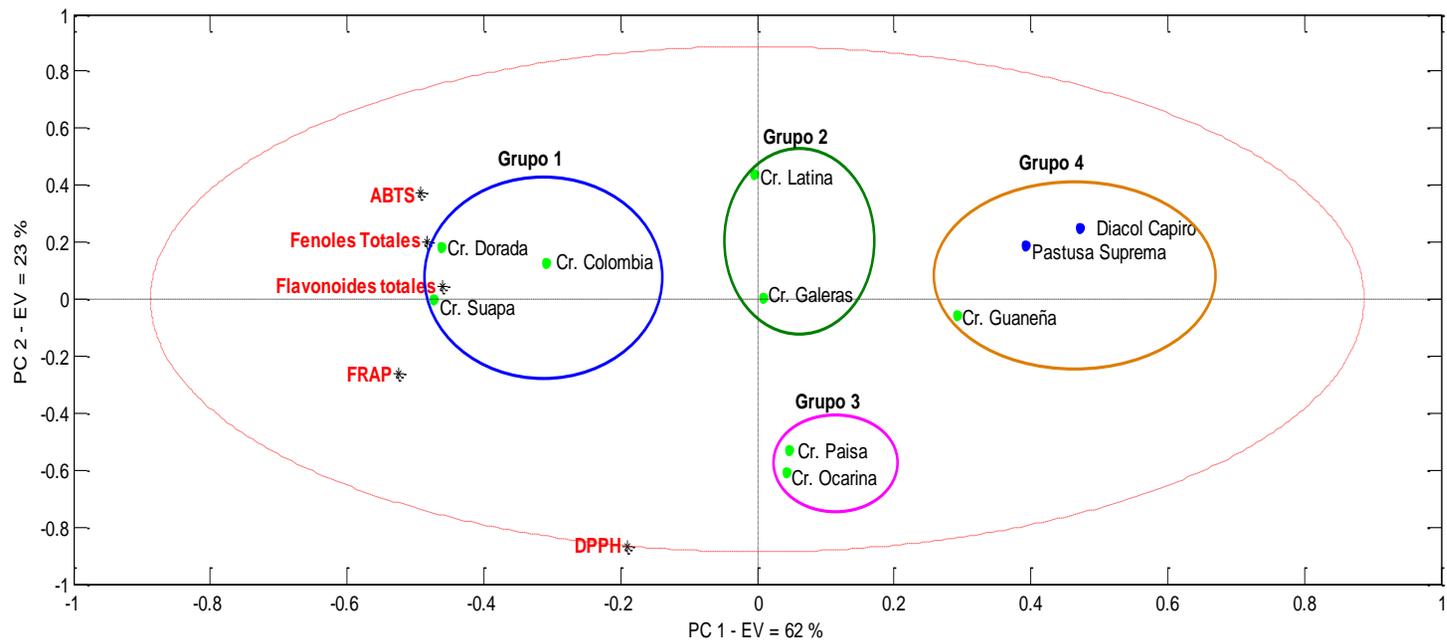


Las barras verticales representan la desviación estándar y letras diferentes diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

Se realizó un análisis de componentes principales, donde se seleccionaron dos componentes bajo el criterio que tuvieran eigenvalores mayores o iguales que 1,0 (**anexo E**). Componentes con eigenvalores mayores o iguales a uno son los que tiene mayor varianza y explican la mayor cantidad de información. El primer componente explicó el 62,3% de la varianza y el segundo componente el 22,8% de la varianza, en conjunto los dos componentes explican 85% de la variabilidad de los datos. En el biplot presentado en la **Figura 3-5** se observa que para el componente uno las variables que tienen mayor aporte son ABTS (-0,49) FRAP (-0,52), fenoles totales (-0,48) y flavonoides totales (-0,46), en el segundo componente la variable que aporta es DPPH(-0,86), donde los valores entre paréntesis son los coeficientes de la correlación existente entre una variable original y un factor, obtenido por combinación lineal de las variables originales, entre más alto el valor absoluto del coeficiente mayor es el aporte de las variables al componente. En el biplot se pudieron distinguir cuatro grupos de acuerdo a la actividad antioxidante, es de resaltar el grupo 1 compuesto por criolla Colombia, criolla Dorada y criolla Suapa, que se relacionan con un mayor contenido de fenoles totales, flavonoides totales y AA (ABTS y FRAP).

Para mirar la correlación de los compuestos fenólicos con la AA por los métodos de ABTS, DPPH y FRAP se realizó un análisis de correlación lineal que se puede observar en la **Tabla 3-2**. El método ABTS que se usa para la evaluación de la AA de los compuestos hidrofílicos tuvo una correlación lineal alta con fenoles totales (0,82), flavonoides totales (0,63) y ácido clorogénico (0,67). El método DPPH se utiliza comúnmente para extractos acuosos/orgánicos con compuestos hidrófilos y lipofílicos, la AA por DPPH se correlaciono con el ácido *neo*-clorogénico (0,66) y ácido cafeico (0,66). La actividad antioxidante FRAP permite medir la capacidad de transferencia de electrones y la capacidad de reducción del  $\text{Fe}^{+3}$  (Gliszczynska-Świgło, 2006) que se relaciona con los compuestos antioxidantes hidrofílicos como los flavonoides que han sido reportados con propiedades quelantes de hierro y sequestradoras de radicales libres, en este trabajo se encontró una correlación alta (0,74) de los flavonoides totales y el método de FRAP. La correlación entre compuestos fenólicos y actividad antioxidante ha sido reportada por otros autores (Lachman, Hamouz, Orsák, Pivec, & Dvořák, 2008).

**Figura 3-5:** Biplot para la actividad antioxidante, fenoles totales y flavonoides totales en cultivares comerciales colombianos de papa.



**Tabla 3-2:** Correlaciones entre la capacidad antioxidante y los compuestos fenólicos en papa.

	ABTS	DPPH	FRAP-T	FRAP-F	FT	FLT-K	FLT-M	Aneo-clo	Aclo	Acripto-clo	Acaf
ABTS		-0,04	<b>0,69</b>	<b>0,69</b>	<b>0,82</b>	<b>0,63</b>	<b>0,64</b>	0,26	<b>0,67</b>	0,51	-0,62
DPPH	-0,04		0,53	0,53	0,14	0,16	0,16	<b>0,67</b>	0,25	0,60	<b>0,66</b>
FRAP-T	<b>0,69</b>	0,53		<b>1,00</b>	<b>0,68</b>	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>	0,62	<b>0,68</b>	<b>0,80</b>	-0,03
FRAP-F	<b>0,69</b>	0,53	<b>1,00</b>		<b>0,69</b>	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>	0,62	<b>0,68</b>	<b>0,80</b>	-0,03
FT	<b>0,82</b>	0,14	<b>0,68</b>	<b>0,69</b>		0,51	0,50	0,09	<b>0,85</b>	0,48	-0,17
FLT-K	<b>0,63</b>	0,16	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>	0,51		<b>1,00</b>	0,29	0,56	0,37	-0,20
FLT-M	<b>0,64</b>	0,16	<b>0,74</b>	<b>0,74</b>	0,50	<b>1,00</b>		0,30	0,56	0,38	-0,21
Aneo-clo	0,26	<b>0,67</b>	0,62	0,62	0,09	0,29	0,30		0,11	<b>0,80</b>	0,11
Aclo	<b>0,67</b>	0,25	<b>0,68</b>	<b>0,68</b>	<b>0,85</b>	0,56	0,56	0,11		0,62	0,02
Acripto-clo	0,51	0,60	<b>0,80</b>	<b>0,80</b>	0,48	0,37	0,38	<b>0,80</b>	0,62		0,08
Acaf	-0,62	<b>0,66</b>	-0,03	-0,03	-0,17	-0,20	-0,21	0,11	0,02	0,08	

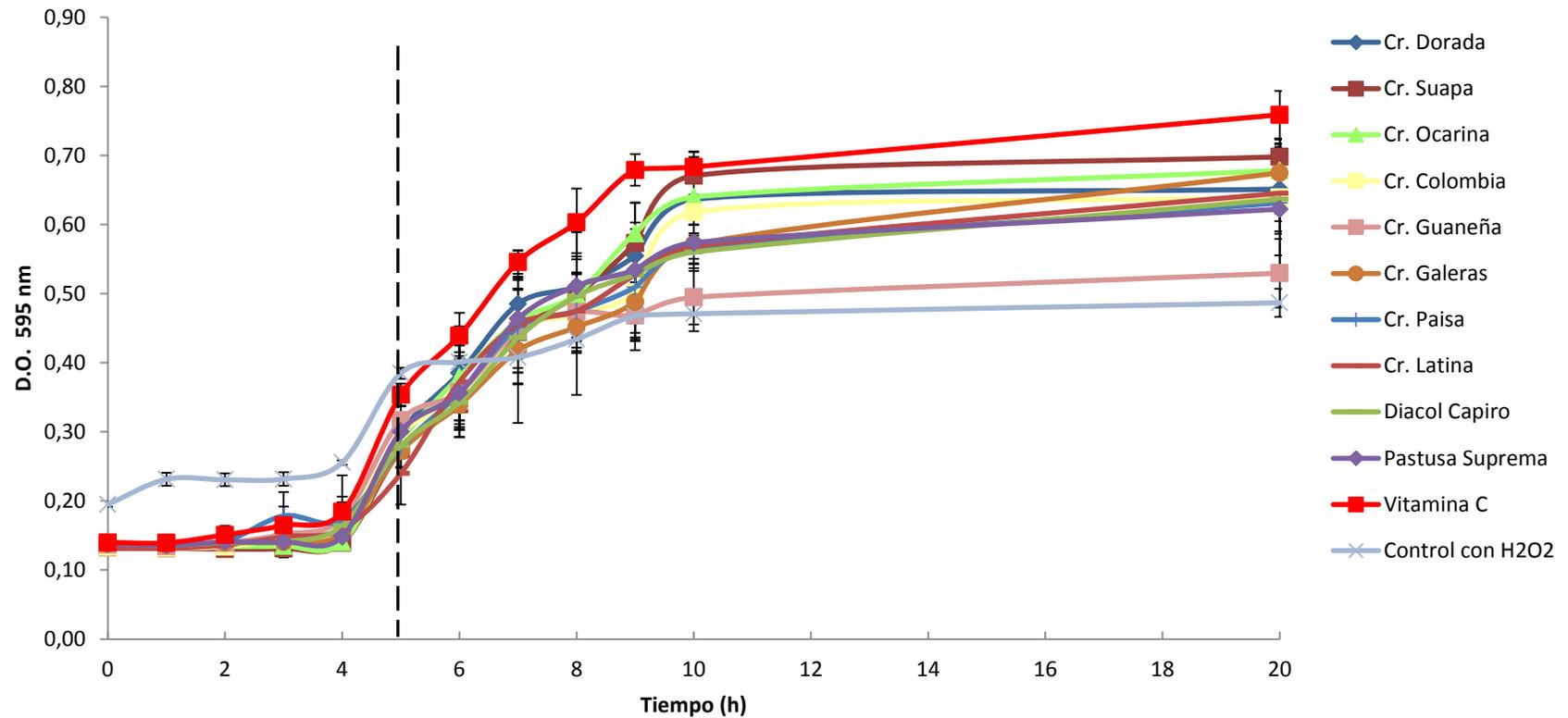
Los valores en negrita indican una correlación significativa ( $p < 0,05$ ). Fenoles totales (**FT**), Flavonoides totales expresados como Kaempferol(**FLT-K**), Flavonoides totales expresados como Mirecetin(**FLT-M**), FRAP expresado en equivalentes Trolox (**FRAP-T**), FRAP expresado en  $\text{FeSO}_4$ (**FRAP-F**), ácido *neo*-clorogénico (**Aneo-clo**), ácido *cripto*-clorogénico(**Acripto-clo**), ácido clorogénico (**Aclo**) y ácido cafeico (**Acaf**).

### 3.3.5 Ensayo de estrés oxidativo en levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*)

Las curvas de crecimiento de las levaduras se observan en la **gráfica 3-6**. El control negativo (inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* sin ningún extracto o compuesto antioxidante) presentó el más bajo crecimiento celular y el control positivo (inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* con vitamina c) presentaron los valores más altos de D.O. lo que indica mayor crecimiento de las levaduras en comparación con todas las muestras inoculadas.

Entre las muestras inoculadas con los extractos de las variedades comerciales de papa, la que presentó mayor crecimiento de las levaduras fue el extracto de Criolla Suapa, que es el cultivar que exhibe también mayor contenido de flavonoides totales y los valores más altos en la AA (FRAP), mientras los extractos de las cultivares comerciales de papa año (Diacol Capiro y Pastusa Suprema) y Criolla Guaneña presentaron la menor protección frente a estrés oxidativo en el crecimiento de las levaduras, estos tres cultivares presentan menor contenido de fenoles totales y AA (FRAP), como se observa en el biplot de la figura 3-5 y se separaron un grupo diferente (**grupo 4**).

**Figura 3.6:** Perfil de crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* sometida a estrés oxidativo con  $H_2O_2$  1,0 mM.



La línea apuntada indica el inicio de estrés oxidativo con peróxido de hidrógeno

## 3.4 Conclusiones y recomendaciones

### 3.4.2 Conclusiones

Los fenoles totales y flavonoides totales variaron significativamente en las diez variedades de papa cultivadas en Colombia. El contenido de fenoles totales vario de 155,7 a 556,9 mg Ac. gálico/100 g de papa BS y el contenido de flavonoides totales vario de 61,5 a 87,5 µg kaempferol/100 g de papa BS ó entre 20,8 a 48,8 µg mirecetin/100 g de papa BS.

Los ácidos hidroxicinámicos: Clorogénico (34,4 -173,5 mg/100 g BS), *cripto*-clorogénico (7,7 -23,5 mg/100 g BS), *neo*-clorogénico (0,2-3,8 mg/ 100 g BS) y cafeico (1,9-8,4 mg/100 g BS) se cuantificaron en diez cultivares de papa Colombianos. La presencia de estos compuestos fenólicos en estos cultivares de papa están relacionados con efectos positivos en la salud humana.

Los extractos de los compuestos fenólicos presentaron actividad antioxidante por los métodos de ABTS (4,1 - 54,6 µmol trolox/g BS), FRAP (9,0 - 17,6 µmol trolox/g BS), DPPH (2,2 - 35,4 µmol trolox/ g BS), las variedades diploides en general presentan un mayores valores de actividad antioxidante que las variedades tetraploides Diacol Capiro y Pastusa suprema.

Los extractos de papa presentaron actividad antioxidante al inocularse en una cepa de *Saccharomyces cerevisiae* ya que ayudaron al crecimiento de las levaduras al ser sometidas a estrés oxidativo.

Los compuestos fenólicos presentes en la papa presentan actividad antioxidante hidrofílica, estos compuestos pueden actuar en mecanismos como la captación de radicales libres (ABTS y FRAP) o en la trasferencia de electrones (FRAP).

### **3.4.2 Recomendaciones**

En esta investigación se observaron unos contenidos significativos de flavonoides totales, por lo cual es de gran pertinencia identificar y cuantificar los flavonoides presentes en las variedades comerciales de la papa.

Evaluar la capacidad antioxidante del germoplasma colombiano de papa en especial los grupos de genotipos promisorios para programas de mejoramiento descritos en el capítulo 1 y 2 (por buenos contenidos de fibra dietaria total, proteína, Fe, Zn y Ca), para correlacionar el contenido nutricional ya caracterizado con su posible funcionalidad en la disminución de riesgo de padecer enfermedades degenerativas que presentan incremento en la población colombiana.

Calcular el impacto que pueden tener las concentraciones de compuestos fenólicos y fibra dietaria total en la biodisponibilidad de minerales.

## 4. Consideraciones generales del contenido nutricional y actividad antioxidantes en tubérculos de papa colombiana

Los programas de mejoramiento genético en papa en Colombia se han venido dando en la selección de clones promisorios para el consumo en fresco y/o para procesamiento, las principales características de la selección de estos clones son la resistencia a *Phytophthora infestans*, alto rendimiento y adaptación a las condiciones ambientales de las diferentes regiones país, sin embargo poco se ha desarrollado en la incorporación de características nutricionales dentro de la selección de clones promisorios en estos programas de mejoramiento, quizás esto se deba a la escasez de información del contenido nutricional del germoplasma de papa colombiano. Esta investigación permitió por primera vez determinar el contenido proximal y el contenido de minerales de una parte del germoplasma colombiano de papa diploide de *S. tuberosum* grupo Phureja representado en la Colección Central Colombiana (CCC), siete clones avanzados (CA) del programa de mejoramiento de papa de la Universidad Nacional de Colombia, 13 cultivares de papas nativas (CN) colectados en el departamento de Nariño y comparar con algunas variedades comerciales de papa diploide (Criolla Colombia, Criolla Galeras, Criolla Guaneña, Criolla Paisa) y dos variedades comerciales tetraploides (*S. tuberosum* ssp. *Tuberosum*) Diacol Capiro por ser el cultivar más empleado a nivel industrial para el procesamiento de papa y Pastusa Suprema, uno de los cultivares más consumidos en fresco en el país y que presenta la característica de buena resistencia a *Phytophthora infestans* uno de los principales patógenos que ataca el cultivo de papa.

Se encontró una gran variabilidad para el contenido de nutrientes del germoplasma colombiano de papa diploide donde deben resaltarse los contenidos de proteína (1,8 - 17,2 g/100g BS), hierro (Fe)(1,3 - 6,5 mg/100g BS), zinc (Zn)(1,4 - 5,8 mg/100g BS) y Calcio (Ca)(11,4 - 196,5 mg/100g BS), de los cuales se presentan problemas de deficiencia en la ingesta en algunas regiones y grupos de la población colombiana (la deficiencia de proteína, Fe, Zn y Ca ha sido reportada 36,0%, 14,9%, 62,3% y 85,8%, respectivamente, (ENSIN, 2005).) También es de gran interés la variabilidad del contenido de compuestos con características funcionales como fibra dietaria insoluble (FDI) (6,3 - 20,9 g/100 g BS) y soluble (FDS)(1,0 - 6,6 g/100 g BS).

La variabilidad en el contenido de estos nutrientes muestran varios genotipos promisorios para la incorporación en programas de mejoramiento además permite ver la importancia que puede tener el cultivo de papa en la seguridad alimentaria y nutricional. Para establecer cuáles eran los genotipos más promisorios por el contenido de macronutrientes y micronutrientes (minerales) para recomendar en los programas de mejoramiento se empleó el análisis de clústeres y componentes principales. Para el contenido en base seca de macronutrientes se encontró un grupo de 23 genotipos [CCC-7, CCC-110, CCC-141, CCC-53, CN-10, CN-8, CCC-143, CCC-138, CCC-24, CCC-81, CCC-36, CCC-122, CCC-72, CCC-88, CCC-19, CCC-15, CCC-131, CCC-41, CCC-38, CCC-104, CCC-40, CCC-11 y CCC-6]. La papa no es usualmente considerada una fuente importante de proteína en la dieta, su calidad tiene propiedades deseables en un alimento de origen vegetal, en especial en el grupo de los tubérculos o alimentos energéticos como como el plátano al poseer un PDCAAS de 70,5% (Suarez, L., et al., 2006). También algunos genotipos de papa de este grupo presentan mayores contenido de fibra dietaria insoluble en comparación a los valores fibra dietaria insoluble de las variedades de papa comerciales de papa en Colombia. La ingesta de fibra dietaria insoluble se le ha relacionado con efectos fisiológicos como la capacidad de absorción de agua y propiedades en la regulación intestinal como reducción de la presión en el colon y del tiempo de tránsito intestinal, aunque la fibra dietaria insoluble es la fracción predominante dentro de la fibra dietaria total de la papa, este estudio como se discutió en el capítulo uno encontró en algunos genotipos valores superiores de fibra dietaria soluble a lo reportado en otros tubérculos. El consumo de fibra dietaria soluble tiene efectos positivos para la salud, por ejemplo la reducción de los niveles de colesterol en la sangre y retrasa la absorción de glucosa. Así mismo otra consideración a resaltar de los

contenidos de proteína y fibra dietaria insoluble y soluble es que el germoplasma contiene genotipos promisorios que presentan valores superiores a las variedades comerciales de papa criolla en nuestro país y dos cultivares de papa de año (Diacol Capiro y Pastusa Suprema).

El análisis de clusters realizado en el capítulo 2 permitió distinguir un grupo de 51 genotipos con mayor contenido de minerales, estos genotipos pueden ser promisorios para programas de mejoramiento o para comenzar a difundir su producción y consumo ya que algunas genotipos pueden aportar hasta el 7,0%, el 22,5% y el 6,7% de la ingesta diaria recomendada de Fe, Zn y Ca respectivamente para mujeres, también 14,6%, 12,9% y 6,7% de Fe, Zn y Ca, respectivamente para hombres (basados en una porción de 110 g de papa y una edad entre 19 a 50 años). La papa a diferencia de otros vegetales posee una concentración baja de fitatos y oxalatos compuestos que inhiben la absorción de algunos minerales como Fe, Zn y Ca, en cambio tienen cantidades significativas de ácido ascórbico que un potenciador de la absorción de estos minerales.

Actualmente se vienen desarrollando varias iniciativas de biofortificación en cultivos en especialmente en mejorar los contenidos de aminoácidos o de proteína total, Fe y Zn, minerales deficientes en la ingesta mundial y en Colombia (donde la ingesta de Ca también presenta problemas de deficiencia), el germoplasma colombiano de papa diploides presenta una buena variabilidad en estos nutrientes para comenzar a desarrollar programas de biofortificación.

Dentro de la perspectiva nutricional de la papa otro aspecto que se ha puede destacar es el contenido de metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos, los cuales presentan características antioxidantes los cuales ayudan al tratamiento y prevención de cáncer, enfermedades inflamatorias y cardiovasculares, lo que indica que la incorporación de estos compuestos en la dieta representa beneficios en la salud, por lo cual esta investigación al evaluar 10 variedades comerciales de papa (Criolla Colombia, Criolla Guaneña, Criolla Paisa, Criolla Latina, Criolla Galeras, Criolla Dorada, Criolla Suapa, Criolla Ocarina, Diacol Capiro y Pastusa Suprema) determinó el contenido de compuestos fenólicos [fenoles totales (entre 155,7 a 556,9 mg Ac.Gálico/100 g de papa BS), flavonoides totales (entre 61,5 a 87,5 µg Kaempferol/100 g de papa BS ó entre 20,8

a 48,8 µg Mirecetin/100 g de papa BS), ácido clorogénico (entre 34,4 a 173,5 mg/100 g BS), ácido *cripto*-clorogénico (entre 7,7 a 23,5 mg/100 g BS), ácido *neo*-clorogénico (entre 0,2 a 3,8 mg/100 g BS) y ácido cafeico (entre 1,9 a 8,4 mg/100 g BS)] los cuales presentan actividad antioxidante por los métodos ABTS, FRAP, DPPH (ensayos químicos) y el crecimiento de levaduras sometidas a estrés oxidativo con peróxido de hidrógeno (ensayo biológico).

En la evaluación de la actividad antioxidante se demostraron mejores resultados en las variedades diploides las cuales presentan un color amarillo en pulpa y cascara: Criolla Dorada (54,6 µmol trolox/g BS por ABTS), Criolla Ocarina (35,4 µmol trolox/g BS por DPPH), Criolla Suapa (17,6 µmol trolox/g BS por FRAP) comparadas con las variedades tetraploides: Diacol Capiro (2,2 µmol trolox/g BS por DPPH y 9,0 µmol trolox/g BS por FRAP) y pastusa suprema (16,4 µmol trolox/g BS por ABTS). La actividad antioxidante en papa es comparable con la actividad antioxidante de algunas frutas colombiana como: borojo, manzana pera, copoasu, cajúa y zapote costeño.

Las ocho variedades de papas diploides evaluadas presentaron mejores resultados en actividad antioxidante que las variedades tetraploides por que tuvieron mayores contenidos en fenoles totales, flavonoides totales y ácido clorogénico (uno de los compuestos fenólicos más predominantes en papa especialmente en la cáscara del tubérculo), ya que al determinar las correlaciones lineales entre los compuestos fenólicos y la actividad antioxidante (por los métodos químicos) se encontraron correlaciones altas y significativas.

En el ensayo de crecimiento de levaduras sometidas a estrés oxidativo con peróxido de hidrogeno la mejor actividad antioxidante la exhibió la vitamina c (control positivo del ensayo) catalogada como un buen antioxidante. Sin embargo es importante señalar que los extractos de papa también presentaron actividad antioxidante ya que permitieron en más baja concentración que el control positivo el crecimiento de las levaduras, donde el mejor resultado entre los 10 cultivares comerciales lo mostro Criolla Suapa, que fue el cultivar que presento el mayor contenido de flavonoides totales. Los resultados de actividad antioxidante sugieren que los compuestos fenólicos de la papa presentan una actividad antioxidante hidrofílica, mostrando a la papa como posible alimento funcional, en especial a los nuevas variedades de papa criolla para la subregión natural nudo de los

pastos obtenidas en el programa de mejoramiento de la Universidad Nacional de Colombia.

En general, se encontró una alta variabilidad en el germoplasma colombiano de papa diploide para los nutrientes evaluados, resaltando que algunos micronutrientes que son deficitarios en la población colombiana se encontraron en concentraciones más altas que las actuales variedades comerciales de papa y siendo la papa un alimento del patrón de consumo de los colombianos sería pertinente la realización de programas de biofortificación en micronutrientes, donde algunos genotipos caracterizados en esta investigación son candidatos para ello. Es muy importante para ello completar la información nutricional de los genotipos con las características agronómicas de los genotipos que indicamos con buenos contenidos nutricionales en términos de rendimiento, resistencia a enfermedades y aceptabilidad sensorial.



# Bibliografía

- Aceto, M., Abollino, O., Bruzzoniti, M. C., Mentasti, E., Sarzanini, C., & Malandrino, M. (2002). Determination of metals in wine with atomic spectroscopy (flame-AAS, GF-AAS and ICP-AES); a review. *Food Additives & Contaminants*, 19(2), 126-133.
- Alam, M. N., Bristi, N. J., & Rafiquzzaman, M. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 21(2), 143-152.
- Albishi, T., John, J. A., Al-Khalifa, A. S., & Shahidi, F. (2013). Phenolic content and antioxidant activities of selected potato varieties and their processing by-products. *Journal of Functional Foods*, 5(2), 590-600.
- Andersson, A. A. M., Andersson, R., Piironen, V., Lampi, A.-M., Nyström, L., Boros, D., Åman, P. Contents of dietary fibre components and their relation to associated bioactive components in whole grain wheat samples from the healthgrain diversity screen. *Food Chemistry*, 136(3-4), 1243-1248.
- Anderson, J. J. B. (2014). Nutrition of Minerals in Relation to Human Function *Reference Module in Biomedical Sciences*: Elsevier.
- Andre, C. M., Ghislain, M., Bertin, P., Oufir, M., del Rosario Herrera, M., Hoffmann, L., Evers, D. (2007). Andean Potato Cultivars (*Solanum tuberosum* L.) as a Source of Antioxidant and Mineral Micronutrients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(2), 366-378.
- André, C. M., Oufir, M., Hoffmann, L., Hausman, J.-F., Rogez, H., Larondelle, Y., & Evers, D. (2009). Influence of environment and genotype on polyphenol compounds and in vitro antioxidant capacity of native Andean potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 517-524
- Association of Official Analytical (AOAC). (1995). Official methods of analysis (16<sup>th</sup> ed). Gaithersburg, MD: AOAC International.
- Arun, K. B., Chandran, J., Dhanya, R., Krishna, P., Jayamurthy, P., & Nisha, P. (2015). A comparative evaluation of antioxidant and antidiabetic potential of peel from young and matured potato. *Food Bioscience*, 9, 36-46.
- Bett-Garber, K. L., Champagne, E. T., McClung, A. M., Moldenhauer, K. A., Linscombe, S. D., & McKenzie, K. S. (2001). Categorizing rice cultivars based on cluster analysis of amylose content, protein content and sensory attributes. *Cereal chemistry*, 78(5), 551-558.
- Bressy, F. C., Brito, G. B., Barbosa, I. S., Teixeira, L. S. G., & Korn, M. G. A. (2013). Determination of trace element concentrations in tomato samples at different

- stages of maturation by ICP OES and ICP-MS following microwave-assisted digestion. *Microchemical Journal*, 109, 145-149.
- Bonierbale, M., Amoros, W., Espinoza, J., Mihovilovich, E., Roca, W., & Gómez, R. (2004). Recursos genéticos de la papa: don del pasado, legado para el futuro. *Suplemento Revista Latinoamericana de la Papa*, 1, 3-13.
- Bonierbale, M., Zapata, G. B., Felde, T. z., & Sosa, P. (2010). Composition nutritionnelle des pommes de terre. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 45(6), 28-36.
- Burgos, G., Amoros, W., Morote, M., Stangoulis, J., & Bonierbale, M. (2007). Iron and zinc concentration of native Andean potato cultivars from a human nutrition perspective. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(4), 668-675.
- Burgos, G., Auqui, S., Amoros, W., Salas, E., & Bonierbale, M. (2009). 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.
- Burgos, G., Amoros, W., Muñoa, L., Sosa, P., Cayhualla, E., Sanchez, C., Bonierbale, M. (2013). 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.
- Burlingame, B., Mouillé, B., & Charrondière, R. (2009). Nutrients, bioactive non-nutrients and anti-nutrients in potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 494-502.
- Cabrera, C., Lloris, F., Giménez, R., Olalla, M., & López, M. C. (2003). Mineral content in legumes and nuts: contribution to the Spanish dietary intake. *Science of The Total Environment*, 308(1-3), 1-14.
- Caicedo, D. R., López, C. E. Ñ., Torres, J. M. C., & Molano, L. E. R. (2011). Heredabilidad del contenido de proteína total en papa diploide *Solanum tuberosum* grupo Phureja. *Bragantia*, 70, 759-766.
- Camire, M. E., Kubow, S., & Donnelly, D. J. (2009). Potatoes and Human Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(10), 823-840.
- Carvajal de Pabón, L. M., Turbay, S., Rojano, B., Álvarez, L. M., Luz Restrepo, S., Álvarez, J. M., Sánchez, N. (2011). Algunas especies de Passiflora y su capacidad antioxidante. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 16(4), 354-363.
- Chellaram, C., Parthasarathy, V., Praveen, M. M., John, A. A., Anand, T. P., Priya, G., & Kesavan, D. (2014). Analysis of Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Potato, *Solanum Tuberosum* L from Tamilnadu Region, India. *APCBEE Procedia*, 8, 105-108.
- Chirinos, R., Pedreschi, R., Rogez, H., Larondelle, Y., & Campos, D. (2013). Phenolic compound contents and antioxidant activity in plants with nutritional and/or

- medicinal properties from the Peruvian Andean region. *Industrial Crops and Products*, 47, 145-152.
- CIP. (2012). Catalogo de nuevas variedades de papas:sabores y colores para el gusto peruano.Lima, Perú,International Potato Center. Disponible en: <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/003524.pdf> , revisado Febrero 2014
- CIP. (2014). International Potato Center. *Potato Nutrition*. Disponible en: <http://cipotato.org/potato/nutrition-3/> Accessed September 2014.
- CIP (2011). Pumping up potatoes for poor communities -iron biofortification. Disponible en: <http://cipotato.org/press-room/press-releases/pumping-up-potatoes-for-poor-communities-iron-biofortification/>. Revizada en Febrero 2015
- Contreras, A. (2005). Recursos genéticos de la papa en América Latina: distribución, conservación y uso. *Agrociencia*, 9(1-2), 93-103.
- Contreras-Calderón, J., Calderón-Jaimes, L., Guerra-Hernández, E., & García-Villanova, B. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food Research International*, 44(7), 2047-2053.
- Daou, C., & Zhang, H. (2013). Functional and physiological properties of total, soluble, and insoluble dietary fibres derived from defatted rice bran. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 3878-3885.
- Del Valle, H. B., Yaktine, A. L., Taylor, C. L., & Ross, A. C. (Eds.). (2011). *Dietary reference intakes for calcium and vitamin D*. National Academies Press.
- Deußer, H., Guignard, C., Hoffmann, L., & Evers, D. (2012). Polyphenol and glycoalkaloid contents in potato cultivars grown in Luxembourg. *Food Chemistry*, 135(4), 2814-2824
- ENSIN. (2005). Encuesta Nacional de situación nutricional Instituto colombiano del bienestar familiar. Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://www.icbf.gov.co/portal/page/portal/PortallCBF/NormatividadC/ENSIN1> Revizada Septiembre 2014.
- Espinal, M. (2010). *Capacidad antioxidante y ablandamiento de la guayaba palmira Ica I (Psidium guajava)*. Tesis de maestria,Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Espinal-Ruiz, M., Parada-Alfonso, F., Restrepo-Sánchez, L.-P., & Narváez-Cuenca, C.-E. (2014). Inhibition of digestive enzyme activities by pectic polysaccharides in model solutions. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 4(1), 27-38.

- Espinal-Ruiz, M., Parada-Alfonso, F., Restrepo-Sánchez, L.-P., Narváez-Cuenca, C.-E., & McClements, D. J. (2014). Interaction of a Dietary Fiber (Pectin) with Gastrointestinal Components (Bile Salts, Calcium, and Lipase): A Calorimetry, Electrophoresis, and Turbidity Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(52), 12620-12630.
- Estrada, R. N. (1996). Recursos genéticos en el mejoramiento de la papa en los países andinos. En papas colombianas: con el mejor entorno ambiental. Bogotá, Colombia: Comunicaciones y asociados editorial.
- Ezekiel, R., Singh, N., Sharma, S., & Kaur, A. (2013). Beneficial phytochemicals in potato — a review. *Food Research International*, 50(2), 487-496.
- FAO/WHO. (2001). *Human vitamin and mineral requirements*. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/004/y2809e/> Accessed September 2014
- FEDEPAPA. (2014). El rumbo del subsector se aclara. *Revista Papa*, 32, 6-10.
- Galdón, B. R., Rodríguez, L. H., Mesa, D. R., León, H. L., Pérez, N. L., Rodríguez Rodríguez, E. M., & Romero, C. D. (2012). Differentiation of potato cultivars experimentally cultivated based on their chemical composition and by applying linear discriminant analysis. *Food Chemistry*, 133(4), 1241-1248.
- Gliszczynska-Świgło, A. (2006). Antioxidant activity of water soluble vitamins in the TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) and the FRAP (ferric reducing antioxidant power) assays. *Food Chemistry*, 96(1), 131-136.
- Gupta, V. K., Luthra, S. K., & Singh, B. P. (2014). Storage behaviour and cooking quality of Indian potato varieties. *Journal of Food Science and Technology*, 1-11.
- Haase, T., Schüler, C., & Heß, J. (2007). The effect of different N and K sources on tuber nutrient uptake, total and graded yield of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) for processing. *European Journal of Agronomy*, 26(3), 187-197.
- Hansen, C. L., Thybo, A. K., Bertram, H. C., Viereck, N., van den Berg, F., & Engelsen, S. B. (2010). Determination of Dry Matter Content in Potato Tubers by Low-Field Nuclear Magnetic Resonance (LF-NMR). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(19), 10300-10304.
- Hawkes, J. G. (1990). *The potato: evolution, biodiversity and genetic resources*. Smithsonian Institution Press.
- Hellwig, J. P., Otten, J. J., & Meyers, L. D. (Eds.). (2006). *Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements*. National Academies Press.
- Hess, S. Y. (2013). Zinc: Deficiency Disorders and Prevention Programs. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition)* (pp. 431-436). Waltham: Academic Press.

- Herrera, A.(2011). Tecnologías de producción y transformación de papa criolla. Universidad Nacional de Colombia, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Fondo Nacional de Fomento Hortifrutícola. Bogotá.
- Hosu, A., Cristea, V.-M., & Cimpoiu, C. (2014). Analysis of total phenolic, flavonoids, anthocyanins and tannins content in Romanian red wines: Prediction of antioxidant activities and classification of wines using artificial neural networks. *Food Chemistry*, 150, 113-118.
- Huaman, Z. & Spooner, M., 2002. Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. petota). *Amer. J. Bot.* 89(6), 947-965.
- Huang, Y. L., Lu, L., Xie, J. J., Li, S. F., Li, X. L., Liu, S. B., Luo, X. G. (2013). Relative bioavailabilities of organic zinc sources with different chelation strengths for broilers fed diets with low or high phytate content. *Animal Feed Science and Technology*, 179(1-4), 144-148.
- ICBF. (2005). Tabla de composición de alimentos colombianos .Instituto colombiano del bienestar familiar. Bogotá, Colombia. Disponible en: [http://alimentoscolombianos.icbf.gov.co/alimentos\\_colombianos/consulta\\_alimento.asp](http://alimentoscolombianos.icbf.gov.co/alimentos_colombianos/consulta_alimento.asp). Consultada en Marzo 2015.
- Israr, B., Frazier, R. A., & Gordon, M. H. (2013). Effects of phytate and minerals on the bioavailability of oxalate from food. *Food Chemistry*, 141(3), 1690-1693.
- Jansky, S. H. (2008). Genotypic and environmental contributions to baked potato flavor. *American Journal of Potato Research*, 85(6), 455-465.
- Ji, X., Rivers, L., Zielinski, Z., Xu, M., MacDougall, E., Stephen, J., Zhang, J. (2012). Quantitative analysis of phenolic components and glycoalkaloids from 20 potato clones and in vitro evaluation of antioxidant, cholesterol uptake, and neuroprotective activities. *Food Chemistry*, 133(4), 1177-1187.
- Jiang, B., Tsao, R., Li, Y., & Miao, M. (2014). Food Safety: Food Analysis Technologies/Techniques. In N. K. V. Alfen (Ed.), *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (pp. 273-288). Oxford: Academic Press.
- Jiménez, M. E., Rossi, A. M., & 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.
- Juyó, D. K., Gerena, H. N., & Mosquera, T. (2011). Evaluación de marcadores moleculares asociados con resistencia a gota (*Phytophthora infestans* L.) en papas diploides y tetraploides. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23(1), 33 - 41.

- Kärenlampi, S. O., & White, P. J. (2009). Chapter 5 - Potato Proteins, Lipids, and Minerals. In J. Singh & L. Kaur (Eds.), *Advances in Potato Chemistry and Technology* (pp. 99-125). San Diego: Academic Press.
- Karlsson, M. E., Leeman, A. M., Björck, I. M. E., & Eliasson, A.-C. (2007). Some physical and nutritional characteristics of genetically modified potatoes varying in amylose/amylopectin ratios. *Food Chemistry*, *100*(1), 136-146.
- Kaur, L., Singh, N., Singh Sodhi, N., & Singh Gujral, H. (2002). Some properties of potatoes and their starches I. Cooking, textural and rheological properties of potatoes. *Food Chemistry*, *79*(2),
- Kita, A. (2002). The influence of potato chemical composition on crisp texture. *Food Chemistry*, *76*(2), 173-179.
- Krejčová, A., Černohorský, T., & Meixner, D. (2007). Elemental analysis of instant soups and seasoning mixtures by ICP–OES. *Food Chemistry*, *105*(1), 242-247.
- Konvalina, P., Stehno, Z., Capouchová, I., Zechner, E., Berger, S., Grausgruber, H., Moudrý Sr, J. (2014). Differences in grain/straw ratio, protein content and yield in landraces and modern varieties of different wheat species under organic farming. *Euphytica*, *199*(1-2), 31-40.
- Lachman, J., Hamouz, K., Orsák, M., Pivec, V., & Dvořák, P. (2008). The influence of flesh colour and growing locality on polyphenolic content and antioxidant activity in potatoes. *Scientia Horticulturae*, *117*(2), 109-114.
- Lazarte, C. E., Carlsson, N.-G., Almgren, A., Sandberg, A.-S., & Granfeldt, Y. (2015). Phytate, zinc, iron and calcium content of common Bolivian food, and implications for mineral bioavailability. *Journal of Food Composition and Analysis*, *39*, 111-119.
- Lærke, H. N., Meyer, A. S., Kaack, K. V., & Larsen, T. (2007). Soluble fiber extracted from potato pulp is highly fermentable but has no effect on risk markers of diabetes and cardiovascular disease in Goto-Kakizaki rats. *Nutrition Research*, *27*(3), 152-160.
- Ligarreto, G. A., & Suárez, M. N. (2003). Evaluación del potencial de los recursos genéticos de papa criolla (*Solanum Phureja*) por calidad industrial. *Agronomía Colombiana*, *21*(1-2), 83-94
- Liu, Q., Tarn, R., Lynch, D., & Skjodt, N. M. (2007). Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. *Food Chemistry*, *105*(3), 897-907.
- Lönnerdal, B., & Hernell, O. (2013). Iron: Physiology, Dietary Sources, and Requirements. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition)* (pp. 39-46). Waltham: Academic Press.
- Lovat, C., Nassar, A. M. K., Kubow, S., Li, X.-q., & Donnelly, D. J. (2015). Metabolic Biosynthesis of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Antioxidants and Implications for Human Health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, (In press).

- Lu, Z.-H., Yada, R. Y., Liu, Q., Bizimungu, B., Murphy, A., De Koeyer, D., Pinhero, R. G. (2011). Correlation of physicochemical and nutritional properties of dry matter and starch in potatoes grown in different locations. *Food Chemistry*, 126(3), 1246-1253.
- Lutaladio, N., & Castaldi, L. (2009). Potato: The hidden treasure. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 491-493.
- Mazurek, A., & Jamroz, J. (2015). Precision of dehydroascorbic acid quantitation with the use of the subtraction method – Validation of HPLC–DAD method for determination of total vitamin C in food. *Food Chemistry*, 173, 543-550.
- Mitchikpe, E. C. S., Dossa, R. A. M., Ategbo, E.-A. D., van Raaij, J. M. A., Hulshof, P. J. M., & Kok, F. J. (2008). The supply of bioavailable iron and zinc may be affected by phytate in Beninese children. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(1), 17-25.
- Mosquera, T. D. J., Alvarez, M. F., Angarita, M., Cuellar, D., Juyo, D., & Delgado, C. (2013). *Genética de la Papa frente a la Gota*. Universidad Nacional de Colombia Bogota, Colombia.
- Mullin, W. J., & Smith, J. M. (1991). Dietary fiber in raw and cooked potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 4(2), 100-106.
- Murniece, I., Karklina, D., Galoburda, R., Santare, D., Skrabule, I., & Costa, H. S. (2011). Nutritional composition of freshly harvested and stored Latvian potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties depending on traditional cooking methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(4–5), 699-710.
- Nassar, A. M. K., Sabally, K., Kubow, S., Leclerc, Y. N., & Donnelly, D. J. (2012). Some canadian-grown potato cultivars contribute to a substantial content of essential dietary minerals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(18), 4688-4696.
- Narváez-Cuenca, C.-E., Vincken, J.-P., Zheng, C., & Gruppen, H. (2013). Diversity of (dihydro) hydroxycinnamic acid conjugates in Colombian potato tubers. *Food Chemistry*, 139(1–4), 1087-1097.
- Navarre, D. A., Goyer, A., & Shakya, R. (2009). Chapter 14 - Nutritional Value of Potatoes: Vitamin, Phytonutrient, and Mineral Content. In J. Singh & L. Kaur (Eds.), *Advances in Potato Chemistry and Technology* (pp. 395-424). San Diego: Academic Press.
- Navarre, D. A., Goyer, A., & Shakya, R. (2009). Chapter 14 - Nutritional Value of Potatoes: Vitamin, Phytonutrient, and Mineral Content. In J. Singh & L. Kaur (Eds.), *Advances in Potato Chemistry and Technology* (pp. 395-424). San Diego: Academic Press.

- Nemś, A., Pęksa, A., Kucharska, A. Z., Sokół-Łętowska, A., Kita, A., Drożdż, W., & Hamouz, K. (2015). Anthocyanin and antioxidant activity of snacks with coloured potato. *Food Chemistry*, 172, 175-182.
- Ñústez, C. (2011). *Estudios fenotípicos y genéticos asociados a la calidad de fritura en Solanum Phureja et Buk*. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia.
- Oh, I. K., Bae, I. Y., & Lee, H. G. (2014). In vitro starch digestion and cake quality: Impact of the ratio of soluble and insoluble dietary fiber. *International Journal of Biological Macromolecules*, 63, 98-103.
- Pęksa, A., Kita, A., Kułakowska, K., Aniołowska, M., Hamouz, K., & Nemś, A. (2013). The quality of protein of coloured fleshed potatoes. *Food Chemistry*, 141(3), 2960-2966.
- Pérez, L., Rodríguez, L. E., & Gómez, M. (2008). Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum Phureja*) variedad Criolla Colombia. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 477-485.
- Perla, V., Holm, D. G., & 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.
- Phillippy, B. Q., Lin, M., & Rasco, B. (2004). Analysis of phytate in raw and cooked potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17(2), 217-226.
- Piccoli da Silva, L., & Santorio Ciocca, M. de L. (2005). Total, insoluble and soluble dietary fiber values measured by enzymatic-gravimetric method in cereal grains. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(1), 113-120.
- Pietrzyk, S., Fortuna, T., Królikowska, K., Rogozińska, E., Łabanowska, M., & Kurdziel, M. (2013). Effect of mineral elements on physicochemical properties of oxidised starches and generation of free radicals. *Carbohydrate Polymers*, 97(2), 343-351.
- Reistad, R., & Hagen, B. F. (1986). Dietary fibre in raw and cooked potatoes. *Food Chemistry*, 19(3), 189-196.
- Restrepo-Sánchez, D.-C., Narváez-Cuenca, Carlos-Eduardo, & Restrepo-Sánchez, Luz-Patricia. (2009). Extracción de compuestos con actividad antioxidante de frutos de guayaba cultivada en Vélez-Santander, Colombia. *Química Nova*, 32(6), 1517-1522.
- Rivero, R. C., Hernández, P. S., Rodríguez, E. M. R. g., Martín, J. D., & Romero, C. D. a. (2003). Mineral concentrations in cultivars of potatoes. *Food Chemistry*, 83(2), 247-253.

- Rodríguez, L. E., Ñustez, C. E., & Estrada, N. (2009). Criolla Latina, Criolla Paisa y Criolla Colombia, nuevos cultivares de papa criolla para el departamento de Antioquia (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 27(3), 289-303.
- Rodríguez, L.E. 2009. Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum* L. sect. Petota Dumort.). Una revisión. *Agronomía Colombiana*. 27(3), 305-312
- Rose, D., Burgos, G., Bonierbale, M., & Thiele, G. (2009). Understanding the role of potatoes in the Peruvian diet: An approach that combines food composition with household expenditure data. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(6), 525-532.
- Sneddon, J., & Vincent, M. D. (2008). ICP-OES and ICP-MS for the Determination of Metals: Application to Oysters. *Analytical Letters*, 41(8), 1291-1303.
- Singh, J., Kaur, L., & Rao, M. A. (2009). Chapter 9 - Textural and Rheological Characteristics of Raw and Cooked Potatoes. In J. Singh & L. Kaur (Eds.), *Advances in Potato Chemistry and Technology* (pp. 249-271). San Diego: Academic Press.
- Sun, H., Mu, T., Xi, L., Zhang, M., & Chen, J. (2014). Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves as nutritional and functional foods. *Food Chemistry*, 156(0), 380-389.
- Tamasi, G., Cambi, M., Gaggelli, N., Autino, A., Cresti, M., & Cini, R. The content of selected minerals and vitamin C for potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from the high Tiber Valley area, southeast Tuscany. *Journal of Food Composition and Analysis*.(In press)
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Hawkins Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6-7), 669-675.
- van Dijk, C., Fischer, M., Holm, J., Beekhuizen, J.-G., Stolle-Smits, T., & Boeriu, C. (2002). Texture of Cooked Potatoes (*Solanum tuberosum*). 1. Relationships between Dry Matter Content, Sensory-Perceived Texture, and Near-Infrared Spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(18), 5082-5088.
- van Marle, J. T., Stolle-Smits, T., Donkers, J., van Dijk, C., Voragen, A. G. J., & Recourt, K. (1997). Chemical and Microscopic Characterization of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cell Walls during Cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(1), 50-58.
- Visser, R. F., Bachem, C. B., de Boer, J., Bryan, G., Chakrabati, S., Feingold, S., Tang, X. (2009). Sequencing the Potato Genome: Outline and First Results to Come from the Elucidation of the Sequence of the World's Third Most Important Food Crop. *American Journal of Potato Research*, 86(6), 417-429.
- Vogt, T. (2010). Phenylpropanoid Biosynthesis. *Molecular Plant*, 3(1), 2-20.

- Wheal, M. S., Fowles, T. O., & Palmer, L. T. (2011). A cost-effective acid digestion method using closed polypropylene tubes for inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) analysis of plant essential elements. *Analytical Methods*, 3(12), 2854-2863.
- Yonekura, L., & Suzuki, H. (2003). Some polysaccharides improve zinc bioavailability in rats fed a phytic acid-containing diet. *Nutrition Research*, 23(3), 343-355.
- Zaheer, K., & Akhtar, M. H. (2014). Recent advances in potato production, usage, nutrition-a Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. (In press)
- Zimmermann, M. B. (2013). Iodine: Deficiency Disorders and Prevention Programs. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition)* (pp. 28-32). Waltham: Academic Press.

## A. Anexo: Características de los clones avanzados

**Tabla A-1:** Características de los clones avanzados del programa de mejoramiento de papa diploide de la Universidad Nacional de Colombia.

<b>Genotipos</b>	<b>Genealogía</b>	<b>Rendimiento (kg/h)</b>	<b>Nivel de resistencia a <i>P. infestans</i></b>
<b>Clones avanzados</b>			
<b>04</b>	Criolla Guaneña x Criolla Galeras	37.100	Alto
<b>09</b>	Criolla Guaneña x Criolla Galeras	33.100	Alto
<b>50</b>	Criolla Latina x Criolla Colombia	34.600	Medio
<b>51</b>	Criolla Latina x Criolla Colombia	34.400	Medio
<b>52</b>	Criolla Latina x Criolla Colombia	36.100	Bajo
<b>59</b>	Criolla Latina x Criolla Colombia	37.400	Medio
<b>64</b>	Criolla Galeras x Criolla Guaneña	32.800	Alto
<b>Cultivares comerciales</b>			
<b>Criolla Colombia</b>	Selección clonal de genotipos redondos amarillos (yema de huevo)	33.500	Bajo
<b>Criolla Galeras</b>	Criolla Colombia x variedad amarilla Tumbay ( <i>Solanum goniocaly</i> )	33.400	Medio

## B. Puesta a punto del método de cocción

Para determinar las condiciones de cocción de los materiales de papa se realizó un ensayo con genotipos comerciales Criolla Colombia cultivados a 2600 -2700 msnm (*Sabana*), se aplicó un modelo factorial 3x4x3 (**Tabla B-1**), donde se evaluaron tres tamaños de tubérculo, tres proporciones agua alimento y tres tiempo de cocción después de sumergir los tubérculos en agua hirviendo.

**Tabla B-1:** Modelo factorial para determinar las condiciones de cocción.

Factor	Clave	niveles
Tamaño tubérculo(cm)	A	Richie < 3.9 cm (tamaño1),
		Primera 4.0 - 5.9 cm(tamaño2)
		Cero >6.0 cm (tamaño 3)
Proporción alimento :agua(g/mL)	B	1:2
		1:3
		1:4
Tiempo de cocción	C	15 min
		20 min
		25 min
		30 min

Las Variables respuesta fueron: gravedad específica, dureza sensorial, dureza instrumental, temperatura en el punto crítico.

- La gravedad específica (GE) se evaluó usando el método de peso en agua ( $P_{\text{agua}}$ ) y peso en aire ( $P_{\text{aire}}$ ), y la GE se calculó mediante la fórmula  $[GE = P_{\text{aire}} / (P_{\text{aire}} - P_{\text{agua}})]$  (Talbert y Smith, 1975).

- La temperatura en el punto crítico del tubérculo, se realizó con termómetro de punción al cumplirse el tiempo estipulado para cada ensayo, con una precisión de  $\pm 0,01$
- Para la determinación de la dureza sensorial se empleó seis panelistas y un método de atributos en una escala estructurada de 5 puntos, para el atributo de dureza, los puntos de la escala fueron: Muy dura (1), dura(2), adecuado(3), blanda (4) y muy blanda (5).
- Para evaluar la dureza instrumental se empleó un Texturometro Ta.Xt.Plus, bajo las siguientes condiciones de trabajo: Aguja P2N, Velocidad de bajada 1,5 mm/s, Velocidad con la que toca 1,5 mm/s, Velocidad de subida 10 mm/s , Distancia 16,0 mm(richi) o 20,0 mm (primera y cero) y Fuerza 25 g-f.

Todas las determinaciones se realizarán por triplicado a partir de 3 réplicas biológicas. A las variables de dureza instrumental y temperatura se aplicó una prueba ANOVA. Para la evaluación sensorial con panelistas una prueba de Kruskal Wallis.

**Tabla B-2.** Gravedad Especifica genotipos de Criolla Colombia

	Gravedad especifica
Tamaño 1	1,06 $\pm$ 1,0x10 <sup>-2</sup>
Tamaño 2	1,07 $\pm$ 4,0x10 <sup>-3</sup>
Tamaño 3	1,08 $\pm$ 9,0x10 <sup>-3</sup>

**Tabla B-3.** Temperatura promedio en el punto crítico en genotipos Criolla Colombia.

Proporción alimento : agua	1:2 (g/mL)				1:3(g/mL)				1:4(g/mL)			
	15 min	20 min	25mi	30min	15 min	20min	25min	30min	15 min	20 min	25 min	30min
<b>Tiempo</b>												
<b>Tamaño 1</b>	83,8 ±2,5	81,9 ±1,2	88,0 ±1,1	86,5 ±1,8	81,0 ±1,3	86,6 ±2,4	84,5 ±1,6	86,9 ±0,7	54,1 ±3,7	85,2 ±1,7	84,1 ±3,0	83,7 ±5,4
<b>Tamaño 2</b>	74,5±2,6	72,2 ±1,2	80,9 ±0,9	63,1 ±4,2	55,0 ±0,5	72,2 ±0,6	87,8 ±0,5	87,5 ±1,4	59,3 ±0,7	65,7 ±0,5	85,0 ±1,3	87,5 ±1,3
<b>Tamaño 3</b>	73,2±1,4	76,7 ±1,6	84,4 ±1,5	89,6 ±0,3	74,2 ±2,3	86,7 ±1,0	87,3 ±1,1	88,9 ±2,3	74,8 ±3,9	85,1 ±0,7	89,0 ±0,5	86,5 ±2,6

**Tabla B-4.** Dureza sensorial en genotipos de papa Criolla.

Proporción alimento : agua	1:2 (g/mL)				1:3(g/mL)				1:4(g/mL)			
	15 min	20 min	25mi	30min	15 min	20min	25min	30min	15 min	20 min	25 min	30min
<b>Tamaño 1</b>	2 ab	3 ab	3 a	3 ab	1 a	3 ab	3 ab	4 b	1 a	3 b	3 ab	4 ab
<b>Tamaño 2</b>	2 ab	3 ab	2 ab	2 ab	1 a	2 ab	3 b	4 b	1 ab	1 a	3 ab	3 ab
<b>Tamaño 3</b>	2 ab	1 a	1 a	4 b	2 ab	2 ab	1 a	3 b	1 ab	1 ab	1 a	1 a

Se indican los valores de moda y letras diferentes en las filas diferencias significativas a un  $p \leq 0$

#### Evaluación de la dureza instrumental.

Para mirar si había diferencias entre los doce tratamientos en el parámetro de dureza instrumental se realizó por medio de ANOVA de una sola vía evaluado a un  $\alpha=0.005$ , en el programa Matlab en su versión 7.9 del 2009.

**Tabla B-5.** Dureza instrumental para genotipos de papa Criolla Colombia

		Proporción 1:2				Proporción 1:3				Proporción 1:4			
		15 min	20 min	25min	30min	15 min	20 min	25min	30min	15 min	20 min	25min	30min
Tamaño 1	Epicarpio	1,2±0,4	0,7±0,1	0,7±0,5	0,5±0,2	1,0±0,6	0,7±0,2	0,7±0,5	0,5±0,1	2,2±0,1	0,6±0,3	0,5±0,1	0,6±0,3
		a	a	a	a	a	a	a	a	b	a	a	a
	Mesocarpio	1,1±0,3	1,0±0,2	0,6±0,2	0,6±0,1	1,2±0,3	0,9±0,3	0,6±0,2	0,5±0,1	3,2±0,4	0,5±0,2	0,5±0,0	0,4±0,1
		ac	ac	ac	ac	a	ac	ac	ac	b	ac	ac	c
Tamaño 2	Epicarpio	1,0±0,4	0,8±0,1	0,7±0,5	0,5±0,2	1,0±0,6	1,0±0,4	0,8±0,4	0,4±0,2	2,5±0,2	2,4±0,5	0,5±0,2	0,5±0,3
		a	a	a	a	a	a	a	a	b	b	a	a
	Mesocarpio	2,3±0,3	2,4±0,6	0,6±0,2	0,6±0,1	1,2±0,3	2,3±0,1	0,9±0,2	0,7±0,1	4,3±0,3	4,0±0,5	0,7±0,1	0,9±0,2
		a	a	b	b	b	a	b	b	c	c	b	b
Tamaño 3	Epicarpio	1,6±0,1	2,8±0,5	1,6±0,1	2,1±0,1	2,8±0,2	1,3±0,2	2,9±0,2	1,0±0,6	2,9±0,2	2,5±0,6	2,9±0,7	2,7±0,3
		a	b	a	ab	b	a	b	a	b	ab	b	b
	Mesocarpio	6,3±2,2	10,3±2,1	0,6±0,2	3,6±0,1	5,5±1,2	4,5±0,9	9,6±0,3	2,6±1,1	12,3±0,7	7,7±2,7	5,8±2,8	11,3±1,8
		a	ab	c	ac	ac	ac	ab	ac	b	ab	ac	b

## C. Anexo: Valores del análisis proximal y contenido mineral

**Tabla 1-C:** Contenido proximal. Materia seca (**MS**), Fibra dietaria soluble (**FS**), fibra dietaria insoluble (**FI**) y Carbohidratos (**CH**). \*Expresado en g/100 g de papa \*\* Expresado en g/100 g de papa en base seca \*\*\* Expresado en kcal/100 g de papa en base seca.

Genotipo	Humedad*	MS*	Proteína**	Grasa**	Cenizas **	FS **	FI **	CH**	Calorías***
COL 2	76,5 ± 3,4	23,5	3,3 ± 1,1	0,2 ± 0,0	4,8 ± 0,1	4,6 ± 0,1	12,7 ± 1,1	74,4 ± 1,5	312,4 ± 1,9
COL 3	78,3 ± 0,3	21,7	4,3 ± 0,4	0,5 ± 0,0	5,4 ± 0,1	5,0 ± 0,3	11,1 ± 0,0	73,8 ± 0,5	316,7 ± 0,7
COL 4	78,8 ± 1,7	21,2	7,3 ± 0,7	0,3 ± 0,2	3,4 ± 0,5	5,3 ± 0,3	11,7 ± 1,0	71,9 ± 1,4	319,8 ± 1,5
COL 5	82,2 ± 0,4	17,8	6,7 ± 0,6	0,1 ± 0,0	3,4 ± 0,0	2,5 ± 0,9	11,0 ± 0,0	76,3 ± 1,1	333,2 ± 1,3
COL 6	82,0 ± 0,4	18,0	7,2 ± 2,3	0,5 ± 0,1	4,9 ± 0,0	6,5 ± 0,7	13,8 ± 1,1	67,2 ± 2,6	301,7 ± 3,5
COL 7	78,3 ± 5,3	21,7	10,1 ± 2,5	0,4 ± 0,1	4,1 ± 0,2	3,9 ± 0,8	13,5 ± 0,8	68,1 ± 2,7	316,1 ± 3,7
COL 8	80,3 ± 0,4	19,7	8,9 ± 0,8	0,2 ± 0,1	4,3 ± 0,2	1,6 ± 0,4	14,2 ± 0,6	70,7 ± 1,1	320,9 ± 1,4
COL 9	72,7 ± 0,3	27,3	9,1 ± 0,8	0,4 ± 0,1	4,2 ± 0,1	4,5 ± 0,5	13,1 ± 1,3	68,7 ± 1,6	314,6 ± 1,8
COL 11	78,1 ± 0,4	21,9	4,6 ± 0,4	0,2 ± 0,1	5,5 ± 0,8	5,4 ± 0,3	14,8 ± 0,2	69,5 ± 1,0	298,3 ± 1,1
COL 13	80,2 ± 0,3	19,8	6,5 ± 1,0	0,2 ± 0,0	4,0 ± 0,2	2,2 ± 0,2	10,9 ± 0,8	76,2 ± 1,3	332,5 ± 1,7

COL 14	76,0 ± 1,2	24,0	9,6 ± 0,9	0,3 ± 0,0	5,0 ± 0,0	4,3 ± 0,1	18,3 ± 2,1	62,6 ± 2,3	291,2 ± 2,4
COL 15	81,8 ± 1,5	18,2	4,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	6,9 ± 0,0	3,5 ± 0,3	16,5 ± 0,1	68,8 ± 0,4	293,2 ± 0,4
COL 16	75,3 ± 0,6	24,7	3,6 ± 0,7	0,3 ± 0,0	6,3 ± 0,2	4,7 ± 0,9	10,1 ± 0,1	75,0 ± 1,1	317,3 ± 1,3
COL 17	82,0 ± 0,8	18,0	12,1 ± 1,2	0,2 ± 0,1	5,4 ± 0,3	4,1 ± 0,0	14,6 ± 0,0	63,6 ± 1,2	304,6 ± 1,7
COL 19	83,9 ± 0,8	16,1	10,9 ± 4,1	0,1 ± 0,2	5,5 ± 0,0	2,6 ± 0,2	20,8 ± 0,4	60,1 ± 4,1	285,3 ± 5,8
COL 20	75,4 ± 1,7	24,6	8,6 ± 0,7	0,3 ± 0,0	4,5 ± 0,1	3,2 ± 0,9	13,8 ± 0,8	69,6 ± 1,4	315,3 ± 1,6
COL 21	74,3 ± 0,7	25,7	7,4 ± 0,3	0,3 ± 0,1	4,6 ± 0,1	2,3 ± 0,2	10,4 ± 1,4	75,0 ± 1,4	332,4 ± 1,5
COL 23	72,3 ± 1,5	27,7	7,3 ± 3,6	0,2 ± 0,1	3,8 ± 0,1	4,3 ± 0,1	10,4 ± 0,9	74,0 ± 3,7	327,2 ± 5,2
COL 24	78,0 ± 1,5	22,0	9,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1	4,9 ± 0,1	4,8 ± 0,7	15,4 ± 0,2	64,4 ± 0,7	303,2 ± 0,7
COL 27	73,2 ± 0,8	26,8	13,5 ± 1,6	0,3 ± 0,2	4,7 ± 0,0	3,1 ± 0,2	17,8 ± 0,6	60,6 ± 1,8	298,9 ± 2,4
COL 31	70,8 ± 1,1	29,2	8,2 ± 0,3	0,3 ± 0,0	4,6 ± 0,2	3,3 ± 0,5	12,0 ± 0,0	71,6 ± 0,6	321,9 ± 0,7
COL 32	80,5 ± 0,8	19,5	11,9 ± 1,5	0,4 ± 0,0	5,1 ± 0,2	2,3 ± 0,0	10,9 ± 0,2	69,5 ± 1,5	328,9 ± 2,2
COL 33	79,9 ± 0,4	20,1	8,1 ± 0,3	0,3 ± 0,0	4,2 ± 0,1	2,7 ± 0,7	13,2 ± 1,4	71,5 ± 1,6	320,9 ± 1,6
COL 34	78,9 ± 0,3	21,1	8,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	4,6 ± 0,0	2,5 ± 0,5	12,9 ± 1,6	71,6 ± 1,7	321,3 ± 1,7
COL 36	79,0 ± 1,2	21,0	13,8 ± 0,5	0,2 ± 0,1	5,8 ± 0,3	2,6 ± 0,3	16,2 ± 0,7	61,4 ± 0,9	302,7 ± 1,0
COL 37	79,0 ± 0,8	21,0	8,3 ± 0,4	0,2 ± 0,1	5,4 ± 0,1	3,3 ± 0,2	12,1 ± 0,6	70,7 ± 0,8	317,9 ± 0,9
COL 38	83,9 ± 0,8	16,1	7,0 ± 0,9	0,3 ± 0,1	4,5 ± 0,1	3,3 ± 1,1	16,6 ± 0,4	68,3 ± 1,5	304,3 ± 1,7
COL 40	77,6 ± 1,7	22,4	6,3 ± 0,6	0,2 ± 0,0	5,4 ± 0,7	5,6 ± 1,1	17,8 ± 0,5	64,7 ± 1,5	285,7 ± 1,7
COL 41	80,2 ± 0,5	19,8	3,8 ± 0,3	0,1 ± 0,0	5,4 ± 0,0	1,8 ± 0,3	19,3 ± 1,0	69,6 ± 1,1	294,8 ± 1,1
COL 42	79,1 ± 0,4	20,9	10,2 ± 0,3	0,3 ± 0,0	4,5 ± 0,1	3,0 ± 0,0	11,2 ± 0,4	70,8 ± 0,5	326,5 ± 0,6
COL 44	74,6 ± 1,0	25,4	9,4 ± 0,1	0,2 ± 0,1	4,8 ± 0,1	3,7 ± 0,3	10,7 ± 0,7	71,1 ± 0,8	324,3 ± 0,8
COL 45	83,3 ± 0,2	16,7	7,9 ± 0,3	0,2 ± 0,1	4,3 ± 0,1	2,9 ± 0,1	13,2 ± 0,7	71,5 ± 0,8	319,6 ± 0,9
COL 47	74,4 ± 2,0	25,6	6,4 ± 0,3	0,3 ± 0,2	4,7 ± 0,0	5,0 ± 0,5	12,6 ± 0,3	71,0 ± 0,7	312,2 ± 0,8
COL 51	77,7 ± 0,9	22,3	11,1 ± 0,4	0,4 ± 0,1	6,5 ± 0,6	4,0 ± 0,8	9,1 ± 0,7	68,9 ± 1,3	323,9 ± 1,3
COL 53	78,4 ± 1,2	21,6	12,3 ± 0,4	0,5 ± 0,0	5,2 ± 0,1	5,4 ± 2,3	16,4 ± 0,1	60,2 ± 2,3	294,4 ± 2,4
COL 57	77,8 ± 0,4	22,2	8,1 ± 0,4	0,2 ± 0,0	4,2 ± 0,1	4,1 ± 2,1	10,4 ± 1,7	73,0 ± 2,7	326,4 ± 2,8
COL 61	84,4 ± 0,4	15,6	6,6 ± 0,3	0,3 ± 0,1	4,1 ± 0,7	5,3 ± 0,4	10,8 ± 0,8	72,9 ± 1,1	320,5 ± 1,2

COL 65	78,7 ± 1,4	21,3	8,2 ± 1,3	0,1 ± 0,0	4,9 ± 0,7	3,5 ± 1,4	13,5 ± 0,2	69,7 ± 2,0	312,8 ± 2,4
COL 67	74,7 ± 0,7	25,3	7,5 ± 0,2	0,2 ± 0,2	4,4 ± 0,4	5,1 ± 0,2	10,7 ± 0,1	72,0 ± 0,5	320,3 ± 0,6
COL 69	80,3 ± 0,6	19,7	8,1 ± 0,3	0,2 ± 0,0	5,3 ± 0,4	5,7 ± 3,7	11,0 ± 0,1	69,7 ± 3,7	312,9 ± 3,7
COL 70	80,9 ± 2,3	19,1	9,3 ± 1,1	0,1 ± 0,0	5,4 ± 0,1	3,7 ± 0,5	12,3 ± 0,1	69,2 ± 1,2	314,9 ± 1,7
COL 71	78,3 ± 1,1	21,7	9,4 ± 0,2	0,5 ± 0,2	4,8 ± 0,3	3,2 ± 0,3	11,4 ± 0,2	70,8 ± 0,6	324,9 ± 0,7
COL 72	77,1 ± 3,1	22,9	12,3 ± 1,6	0,2 ± 0,1	6,3 ± 0,3	4,2 ± 0,2	14,1 ± 0,1	62,9 ± 1,6	302,6 ± 2,3
COL 73	76,9 ± 0,7	23,1	5,2 ± 0,4	0,6 ± 0,1	4,4 ± 0,0	2,8 ± 0,7	9,5 ± 0,8	77,6 ± 1,2	336,4 ± 1,2
COL 76	85,0 ± 2,7	15,0	17,2 ± 0,3	0,5 ± 0,4	6,6 ± 0,1	2,5 ± 0,7	19,7 ± 0,3	53,6 ± 0,9	287,3 ± 1,0
COL 79	74,6 ± 1,2	25,4	7,7 ± 0,9	0,3 ± 0,0	5,5 ± 0,1	5,4 ± 0,7	13,9 ± 0,6	67,2 ± 1,3	302,3 ± 1,5
COL 80	76,4 ± 3,8	23,6	4,6 ± 1,9	0,2 ± 0,0	4,7 ± 0,1	4,2 ± 0,5	10,1 ± 0,2	76,2 ± 2,0	324,9 ± 2,8
COL 81	69,0 ± 2,6	31,0	9,8 ± 1,4	0,1 ± 0,1	4,9 ± 0,0	6,6 ± 2,8	15,8 ± 0,8	62,9 ± 3,2	291,5 ± 3,5
COL 83	75,8 ± 1,3	24,2	1,8 ± 0,5	0,2 ± 0,1	3,9 ± 0,0	3,8 ± 0,2	11,1 ± 0,2	79,3 ± 0,6	325,9 ± 0,7
COL 87	77,1 ± 5,9	22,9	8,8 ± 0,4	0,2 ± 0,1	4,7 ± 0,2	3,5 ± 0,4	12,3 ± 0,3	70,4 ± 0,7	319,0 ± 0,8
COL 88	75,3 ± 2,6	24,7	9,7 ± 0,4	0,4 ± 0,0	6,9 ± 0,2	4,3 ± 0,3	15,3 ± 0,1	63,3 ± 0,5	296,1 ± 0,7
COL 89	84,5 ± 0,2	15,5	6,6 ± 1,1	0,3 ± 0,1	4,8 ± 0,1	3,7 ± 0,3	10,2 ± 0,5	74,4 ± 1,3	326,9 ± 1,7
COL 91	78,3 ± 1,6	21,7	9,4 ± 0,5	0,2 ± 0,0	5,2 ± 0,1	4,0 ± 0,4	12,5 ± 0,2	68,6 ± 0,7	314,2 ± 0,8
COL 93	76,9 ± 1,0	23,1	8,2 ± 1,4	0,1 ± 0,1	3,3 ± 0,1	4,3 ± 0,8	11,0 ± 0,4	73,1 ± 1,7	326,2 ± 2,2
COL 94	79,5 ± 1,0	20,5	9,0 ± 0,4	0,2 ± 0,1	4,6 ± 0,1	2,7 ± 0,2	13,2 ± 1,3	70,4 ± 1,4	318,8 ± 1,5
COL 96	79,5 ± 1,0	20,5	10,9 ± 0,8	0,1 ± 0,0	4,9 ± 0,3	4,8 ± 0,9	13,4 ± 0,2	65,9 ± 1,3	308,0 ± 1,5
COL 98	75,1 ± 0,7	24,9	8,0 ± 0,8	0,1 ± 0,0	4,6 ± 0,4	4,4 ± 1,6	8,4 ± 0,0	74,5 ± 1,8	330,9 ± 2,0
COL 99	87,6 ± 1,6	12,4	7,8 ± 2,2	0,3 ± 0,0	4,6 ± 0,1	6,5 ± 1,3	10,9 ± 0,1	69,9 ± 2,5	313,4 ± 3,4
COL 100	81,8 ± 0,5	18,2	8,1 ± 1,6	0,5 ± 0,3	3,9 ± 0,1	6,6 ± 0,4	9,4 ± 1,4	71,6 ± 2,2	322,9 ± 2,7
COL 101	80,2 ± 0,1	19,8	8,1 ± 0,2	0,3 ± 0,0	4,4 ± 0,2	4,1 ± 0,2	8,9 ± 1,4	74,2 ± 1,5	332,1 ± 1,5
COL 102	81,6 ± 1,0	18,4	9,6 ± 0,3	0,3 ±	6,1 ± 0,2	2,9 ± 0,1	8,1 ± 0,9	72,9 ± 1,0	333,3 ± 1,0
COL 103	81,6 ± 0,0	18,4	7,6 ± 2,1	0,3 ± 0,0	3,7 ± 0,0	2,6 ± 1,1	13,4 ± 0,2	72,4 ± 2,3	322,5 ± 3,1
COL 104	81,4 ± 1,0	18,6	6,4 ± 3,6	0,3 ± 0,1	4,7 ± 0,1	5,7 ± 0,5	17,1 ± 0,8	65,8 ± 3,8	291,7 ± 5,2
COL 108	79,7 ± 1,6	20,3	13,3 ± 1,7	0,4 ± 0,3	6,6 ± 0,2	3,8 ± 0,0	8,2 ± 0,0	67,8 ± 1,8	328,0 ± 2,5
COL 109	74,8 ± 2,1	25,2	6,8 ± 0,5	0,2 ± 0,0	3,9 ± 0,4	4,7 ± 1,4	10,7 ± 0,4	73,7 ± 1,6	324,2 ± 1,7

COL 110	84,4 ± 0,2	15,6	10,7 ± 0,4	0,5 ± 0,1	5,3 ± 0,2	6,2 ± 2,0	20,9 ± 2,0	56,4 ± 2,9	272,7 ± 2,9
COL 112	78,5 ± 0,4	21,5	9,5 ± 0,4	0,2 ± 0,1	5,3 ± 0,0	4,2 ± 1,5	14,1 ± 0,8	66,7 ± 1,7	306,6 ± 1,8
COL 113	80,2 ± 0,6	19,8	8,2 ± 0,3	0,2 ± 0,1	4,8 ± 0,0	3,5 ± 0,7	10,9 ± 0,2	72,4 ± 0,8	324,4 ± 0,8
COL 115	72,9 ± 3,4	27,1	14,0 ± 0,5	0,5 ± 0,1	5,4 ± 0,1	4,6 ± 0,2	9,9 ± 1,4	65,5 ± 1,5	322,8 ± 1,6
COL 116	80,6 ± 0,2	19,4	8,5 ± 0,3	0,3 ± 0,2	4,5 ± 0,6	3,5 ± 0,7	10,5 ± 0,5	72,8 ± 1,1	327,6 ± 1,1
COL 117	77,5 ± 3,9	22,5	7,5 ± 0,2	0,3 ± 0,1	4,2 ± 0,0	3,9 ± 0,8	9,5 ± 1,4	74,6 ± 1,6	330,8 ± 1,6
COL 118	76,3 ± 1,8	23,7	10,9 ± 0,7	0,2 ± 0,1	4,3 ± 0,0	2,4 ± 1,5	13,1 ± 0,2	69,1 ± 1,7	322,0 ± 1,8
COL 120	76,6 ± 11,1	23,4	9,9 ± 0,3	0,2 ± 0,1	3,9 ± 0,1	4,5 ± 2,0	13,6 ± 0,6	68,0 ± 2,1	313,1 ± 2,1
COL 121	85,6 ± 0,7	14,4	9,5 ± 0,2	0,2 ± 0,1	4,9 ± 0,1	4,5 ± 0,2	12,8 ± 0,1	68,2 ± 0,3	312,2 ± 0,4
COL 122	79,8 ± 1,2	20,2	14,4 ± 1,0	0,2 ± 0,0	6,6 ± 0,2	5,3 ± 0,4	13,7 ± 0,3	59,9 ± 1,1	298,6 ± 1,5
COL 123	75,2 ± 1,2	24,8	3,9 ± 0,2	0,2 ± 0,0	5,1 ± 0,5	3,2 ± 0,3	15,2 ± 1,4	72,4 ± 1,5	306,9 ± 1,6
COL 124	76,9 ± 0,8	23,1	6,9 ± 0,5	0,4 ± 0,1	5,5 ± 0,0	1,7 ± 0,0	8,0 ± 0,5	77,5 ± 0,7	341,2 ± 0,9
COL 125	81,7 ± 0,6	18,3	6,5 ± 0,4	0,2 ±	4,7 ± 0,0	3,7 ± 0,2	11,0 ± 2,2	73,8 ± 2,3	323,5 ± 2,3
COL 126	78,5 ± 0,0	21,5	9,3 ± 0,2	0,1 ± 0,1	3,9 ± 0,0	4,7 ± 2,0	10,8 ± 0,5	71,2 ± 2,1	323,2 ± 2,1
COL 127	76,5 ± 1,6	23,5	8,5 ± 1,1	0,4 ± 0,3	5,0 ± 0,4	3,9 ± 0,1	12,2 ± 0,6	70,0 ± 1,4	317,3 ± 1,8
COL 128	83,7 ± 0,3	16,3	5,4 ± 0,8	0,1 ± 0,0	5,3 ± 0,0	3,0 ± 0,8	8,6 ± 1,4	77,5 ± 1,8	333,1 ± 2,0
COL 129	82,5 ± 1,1	17,5	9,8 ± 0,3	0,3 ± 0,1	5,1 ± 0,5	3,1 ± 0,6	8,0 ± 0,8	73,7 ± 1,2	336,7 ± 1,2
COL 131	82,5 ± 1,1	17,5	9,6 ± 0,4	0,2 ± 0,1	6,2 ± 0,0	4,2 ± 1,5	16,2 ± 1,8	63,6 ± 2,4	294,4 ± 2,4
COL 132	77,1 ± 3,8	22,9	11,7 ± 0,0	0,2 ± 0,1	4,2 ± 0,1	3,5 ± 0,3	13,9 ± 0,3	66,5 ± 0,4	314,7 ± 0,4
COL 133	83,1 ± 9,2	16,9	6,3 ± 1,3	0,3 ± 0,2	5,8 ± 0,1	6,4 ± 0,5	13,1 ± 0,6	68,1 ± 1,5	300,1 ± 2,0
COL 135	80,1 ± 0,3	19,9	8,1 ± 3,7	0,2 ± 0,0	5,5 ± 0,0	4,5 ± 0,5	7,2 ± 1,0	74,5 ± 3,8	332,2 ± 5,3
COL 136	75,6 ± 0,0	24,4	10,0 ± 0,2	0,2 ± 0,1	5,0 ± 0,1	5,2 ± 0,9	12,2 ± 0,8	67,4 ± 1,2	311,5 ± 1,2
COL 137	74,2 ± 1,0	25,8	7,6 ± 0,3	0,2 ± 0,1	4,5 ± 0,4	6,5 ± 1,1	10,4 ± 0,3	70,7 ± 1,3	315,4 ± 1,3
COL 138	79,2 ± 0,7	20,8	9,9 ± 0,8	0,6 ± 0,0	5,4 ± 0,1	4,8 ± 1,1	13,8 ± 0,8	65,6 ± 1,6	306,9 ± 1,8
COL 141	80,0 ± 0,3	20,0	12,2 ± 0,7	0,4 ± 0,2	5,6 ± 0,1	6,4 ± 0,9	16,9 ± 0,4	58,6 ± 1,2	286,2 ± 1,5
COL 142	80,0 ± 2,0	20,0	8,4 ± 0,4	0,3 ± 0,3	4,3 ± 0,0	3,0 ± 0,7	6,4 ± 1,9	77,6 ± 2,1	346,8 ± 2,1
COL 143	77,0 ± 2,7	23,0	10,8 ± 0,3	0,6 ± 0,0	5,4 ± 0,1	4,5 ± 0,5	15,1 ± 0,1	63,7 ± 0,6	302,7 ± 0,7

COL 144	79,5 ± 0,3	20,5	10,0 ± 0,4	0,2 ± 0,0	5,6 ± 0,1	5,2 ± 0,6	9,3 ± 1,7	69,7 ± 1,8	320,4 ± 1,9
COL 145	81,2 ± 0,3	18,8	8,1 ± 0,2	0,1 ± 0,0	4,7 ± 0,1	2,5 ± 0,0	9,8 ± 1,5	74,7 ± 1,5	332,7 ± 1,5
CN 4	72,7 ± 1,0	27,3	8,1 ± 0,5	0,4 ± 0,1	4,8 ± 0,1	5,9 ± 0,3	13,1 ± 0,1	67,7 ± 0,6	306,7 ± 0,8
CN 9	75,9 ± 1,6	24,1	10,0 ± 0,2	0,4 ± 0,1	4,9 ± 0,0	6,6 ± 0,5	9,6 ± 1,1	68,5 ± 1,2	317,3 ± 1,3
CN 8	75,5 ± 2,9	24,5	16,7 ± 0,7	0,7 ± 0,1	5,6 ± 0,0	5,5 ± 1,7	15,2 ± 1,9	56,3 ± 2,7	298,3 ± 2,8
CN 10	78,0 ± 0,4	22,0	14,3 ± 1,1	0,8 ± 0,2	5,6 ± 0,2	5,7 ± 0,8	12,0 ± 0,3	61,6 ± 1,4	311,0 ± 1,7
CN 11	77,9 ± 0,5	22,1	12,7 ± 1,3	0,2 ± 0,0	5,3 ± 0,2	5,0 ± 0,4	11,1 ± 1,5	65,7 ± 2,0	315,6 ± 2,4
CN 15	73,1 ± 0,8	26,9	9,0 ± 0,4	0,8 ± 0,0	5,4 ± 0,2	3,8 ± 0,9	10,0 ± 2,1	71,0 ± 2,3	327,6 ± 2,4
CN 29	74,1 ± 0,9	25,9	6,6 ± 0,2	0,4 ± 0,1	4,9 ± 0,2	4,3 ± 1,0	9,4 ± 0,4	74,4 ± 1,1	327,8 ± 1,1
CN 42	77,0 ± 0,7	23,0	9,2 ± 1,0	0,1 ± 0,0	6,4 ± 0,2	3,9 ± 1,4	9,0 ± 0,3	71,4 ± 1,7	323,1 ± 2,0
CN 121	78,7 ± 1,3	21,3	8,4 ± 0,4	0,3 ± 0,0	5,4 ± 0,2	4,7 ± 0,6	9,4 ± 1,1	71,8 ± 1,3	323,8 ± 1,4
CN124	74,4 ± 1,2	25,6	11,3 ± 0,4	0,3 ± 0,2	4,3 ± 0,2	3,3 ± 0,3	13,6 ± 0,9	67,2 ± 1,1	316,6 ± 1,1
CN 139	74,6 ± 0,8	25,5	11,3 ± 0,3	0,4 ± 0,0	5,3 ± 0,2	2,8 ± 0,3	10,6 ± 0,3	69,6 ± 0,5	327,4 ± 0,6
CN143	76,9 ± 0,8	23,1	8,8 ± 0,3	0,4 ± 0,0	4,0 ± 0,2	4,3 ± 0,7	7,7 ± 0,3	74,9 ± 0,8	338,0 ± 0,9
CN148	79,0 ± 0,6	21,0	9,2 ± 0,5	0,3 ± 0,2	5,0 ± 0,2	3,5 ± 0,3	12,6 ± 0,9	69,4 ± 1,1	317,3 ± 1,2
CA O4	81,0 ± 0,2	19,0	9,7 ± 0,3	0,4 ± 0,0	4,8 ± 0,2	4,8 ± 0,8	11,6 ± 0,4	68,7 ± 0,0	316,9 ± 2,0
CA O9	77,6 ± 8,6	22,4	9,5 ± 0,2	0,7 ± 0,0	4,8 ± 0,0	4,9 ± 0,5	9,0 ± 0,5	71,1 ± 0,3	328,2 ± 0,3
CA 50	83,5 ± 0,3	16,5	8,2 ± 0,3	0,1 ± 0,0	4,3 ± 0,0	1,1 ± 0,5	12,6 ± 0,6	73,7 ± 0,2	328,5 ± 0,6
CA 51	77,3 ± 0,3	22,7	9,3 ± 1,7	0,1 ± 0,0	5,1 ± 0,1	3,5 ± 0,2	13,8 ± 3,1	70,0 ± 3,6	318,4 ± 21,7
CA 52	81,0 ± 0,4	19,1	3,2 ± 0,8	0,4 ± 0,0	5,1 ± 0,2	2,4 ± 0,0	11,6 ± 0,0	77,6 ± 0,4	325,4 ± 1,0
CA 59	80,2 ± 0,6	19,8	9,2 ± 0,1	0,4 ± 0,1	4,8 ± 0,2	2,1 ± 0,0	13,3 ± 0,1	70,3 ± 0,6	321,1 ± 2,6
CA 64	76,1 ± 0,9	23,9	2,9 ± 0,6	0,6 ± 0,0	4,8 ± 0,0	1,0 ± 0,0	6,3 ± 1,4	84,6 ± 0,7	354,2 ± 5,5
Colombia	80,9 ± 0,1	19,1	4,0 ± 1,1	0,2 ± 0,1	4,5 ± 0,1	3,0 ± 0,5	12,3 ± 1,4	76,1 ± 1,8	321,9 ± 2,1
Galeras	80,9 ± 0,5	19,1	3,1 ± 0,5	0,2 ± 0,1	4,4 ± 0,0	2,8 ± 0,1	11,5 ± 0,6	78,1 ± 0,8	326,2 ± 0,9
Paisa	78,9 ± 0,1	21,1	9,5 ± 2,4	0,2 ± 0,1	5,3 ± 0,7	4,3 ± 0,3	10,1 ± 0,3	70,6 ± 2,5	322,2 ± 3,5
Guaneña	76,4 ± 7,2	23,6	9,1 ± 0,2	0,2 ± 0,2	5,2 ± 0,3	4,4 ± 0,4	10,9 ± 0,6	70,2 ± 0,8	319,2 ± 0,8
Capiro	78,6 ± 1,8	21,4	7,0 ± 2,2	0,2 ± 0,0	2,3 ± 0,1	2,7 ± 0,6	6,3 ± 0,3	81,5 ± 2,3	355,6 ± 3,2
Suprema	74,6 ± 1,3	25,4	6,7 ± 0,3	0,3 ± 0,0	3,2 ± 0,1	3,1 ± 1,1	8,7 ± 0,2	78,1 ± 1,1	341,1 ± 1,2

**Tabla 2-C:** Contenido minerales traza expresado en mg/100 g de papa de papa en base seca

genotipo	Fe mg/100g	Mn mg/100g	Cu mg/100g	Zn mg/100g
COL 2	1,9 ± 0,3	0,3 ± 0,0	0,9 ± 0,2	4,7 ± 1,5
COL 3	2,0 ± 0,4	0,3 ± 0,1	0,5 ± 0,1	3,6 ± 0,4
COL 4	3,3 ± 0,4	0,5 ± 0,0	0,6 ± 0,0	3,9 ± 0,3
COL 8	3,4 ± 0,3	0,5 ± 0,1	1,1 ± 0,2	5,6 ± 0,3
COL 13	1,9 ± 0,3	0,3 ± 0,1	0,6 ± 0,0	3,8 ± 0,1
COL 14	2,2 ± 0,3	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,0	4,0 ± 0,0
COL 15	2,5 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,7 ± 0,0	3,9 ± 0,1
COL 17	2,0 ± 0,1	0,3 ± 0,0	0,7 ± 0,1	4,1 ± 0,2
COL 19	2,8 ± 0,6	0,4 ± 0,2	0,6 ± 0,0	4,0 ± 0,2
COL 20	2,3 ± 0,2	0,2 ± 0,0	0,7 ± 0,0	3,7 ± 0,4
COL 23	6,2 ± 1,9	3,3 ± 1,6	0,6 ± 0,0	5,8 ± 1,5
COL 24	1,9 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,0	3,7 ± 0,3
COL 27	2,4 ± 0,3	0,4 ± 0,1	0,7 ± 0,1	3,4 ± 0,5
COL 30	2,4 ± 0,3	0,3 ± 0,1	0,7 ± 0,0	5,0 ± 0,3
COL 31	1,4 ± 1,3	0,2 ± 0,1	0,7 ± 0,6	3,7 ± 3,3
COL 32	3,0 ± 0,3	0,8 ± 0,1	0,9 ± 0,1	4,2 ± 0,3
COL 33	3,2 ± 1,6	0,3 ± 0,0	0,7 ± 0,1	3,8 ± 0,2
COL 34	2,3 ± 0,3	0,3 ± 0,2	0,6 ± 0,1	4,1 ± 0,1
COL 36	2,4 ± 0,1	0,4 ± 0,0	0,5 ± 0,1	3,0 ± 0,1
COL 37	2,3 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,7 ± 0,1	4,9 ± 0,3
COL 38	2,1 ± 0,1	0,3 ± 0,0	0,8 ± 0,0	4,1 ± 0,3
COL 41	2,4 ± 0,4	0,6 ± 0,2	0,7 ± 0,2	3,7 ± 0,1
COL 42	2,6 ± 0,1	0,3 ± 0,1	0,7 ± 0,0	2,6 ± 0,1
COL 43	2,1 ± 0,3	0,4 ± 0,1	0,5 ± 0,1	2,8 ± 0,6
COL 51	2,4 ± 0,2	0,4 ± 0,0	0,6 ± 0,1	4,0 ± 0,3
COL 52	2,6 ± 0,2	0,4 ± 0,0	0,7 ± 0,1	4,1 ± 0,5
COL 53	2,7 ± 0,2	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1	2,8 ± 0,3
COL 56	1,9 ± 0,2	0,2 ± 0,1	0,7 ± 0,1	4,1 ± 0,2
COL 59	3,7 ± 2,3	0,7 ± 0,6	0,7 ± 0,4	4,6 ± 3,1
COL 62	2,7 ± 0,0	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,0	4,3 ± 0,2
COL 65	3,5 ± 0,6	0,6 ± 0,3	0,9 ± 0,1	4,9 ± 0,1
COL 66	3,2 ± 0,1	0,6 ± 0,0	0,5 ± 0,0	3,1 ± 0,3
COL 67	2,8 ± 0,4	0,5 ± 0,2	0,6 ± 0,0	4,7 ± 0,8
COL 69	2,2 ± 0,1	0,4 ± 0,0	0,6 ± 0,0	3,7 ± 0,6
COL 71	2,2 ± 0,2	0,3 ± 0,0	0,6 ± 0,1	3,7 ± 0,2
COL 72	2,2 ± 0,4	0,3 ± 0,1	0,8 ± 0,0	4,1 ± 0,2

COL 73	2,5 ± 0,3	0,6 ± 0,1	0,9 ± 0,2	4,2 ± 0,8
COL 74	2,7 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,7 ± 0,0	4,1 ± 0,2
COL 76	2,1 ± 0,2	0,3 ± 0,0	0,6 ± 0,0	3,8 ± 0,3
COL 79	2,9 ± 0,5	0,4 ± 0,2	0,5 ± 0,0	3,6 ± 0,4
COL 80	3,7 ± 0,4	0,3 ± 0,2	0,8 ± 0,0	3,7 ± 0,2
COL 83	2,8 ± 1,8	0,3 ± 0,2	0,5 ± 0,3	2,7 ± 1,7
COL 86	2,3 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	2,6 ± 0,2
COL 87	2,3 ± 0,2	0,7 ± 0,3	0,5 ± 0,1	2,9 ± 0,4
COL 88	4,4 ± 1,2	0,7 ± 0,6	0,7 ± 0,1	3,5 ± 0,1
COL 91	2,8 ± 0,3	0,3 ± 0,1	0,9 ± 0,0	3,5 ± 0,7
COL 92	3,1 ± 0,4	0,5 ± 0,3	0,7 ± 0,0	3,3 ± 0,3
COL 93	5,0 ± 0,1	1,4 ± 0,2	0,7 ± 0,1	4,4 ± 0,2
COL 94	2,5 ± 0,4	0,4 ± 0,2	0,7 ± 0,1	3,2 ± 0,0
COL 96	4,6 ± 2,8	0,6 ± 0,4	0,7 ± 0,1	4,3 ± 0,5
COL 99	2,3 ± 0,5	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,0	3,9 ± 0,5
COL 100	2,5 ± 0,4	0,3 ± 0,1	0,8 ± 0,3	4,2 ± 1,0
COL 101	2,7 ± 0,1	0,5 ± 0,3	0,7 ± 0,1	4,3 ± 0,3
COL 102	3,5 ± 0,9	1,1 ± 1,0	0,7 ± 0,1	4,3 ± 0,8
COL 104	3,2 ± 0,2	0,4 ± 0,0	0,6 ± 0,0	4,2 ± 0,8
COL 106	3,7 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,0	3,5 ± 0,3
COL 108	2,6 ± 0,3	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,2	5,3 ± 1,2
COL 109	1,7 ± 0,5	0,3 ± 0,1	0,6 ± 0,1	4,1 ± 0,9
COL 110	2,9 ± 0,6	0,5 ± 0,4	0,8 ± 0,3	4,8 ± 0,9
COL 112	2,7 ± 0,2	0,6 ± 0,6	0,8 ± 0,1	4,6 ± 1,5
COL 113	1,6 ± 1,0	0,2 ± 0,1	0,5 ± 0,3	2,5 ± 1,6
COL 116	6,5 ± 3,2	1,6 ± 1,2	0,8 ± 0,0	5,4 ± 0,1
COL 119	2,6 ± 0,1	0,5 ± 0,2	0,9 ± 0,2	4,3 ± 0,3
COL 120	3,0 ± 0,5	0,8 ± 0,4	0,6 ± 0,1	4,0 ± 0,7
COL 121	2,3 ± 0,4	0,3 ± 0,1	0,8 ± 0,1	4,8 ± 0,5
COL 122	2,5 ± 0,7	0,4 ± 0,2	0,7 ± 0,1	2,8 ± 0,8
COL 125	2,0 ± 0,4	0,6 ± 0,1	0,8 ± 0,1	4,7 ± 0,3
COL 126	3,4 ± 0,8	0,6 ± 0,2	0,7 ± 0,2	4,3 ± 0,6
COL 127	1,7 ± 0,1	0,3 ± 0,0	0,8 ± 0,1	4,6 ± 0,4
COL 128	2,2 ± 0,3	0,4 ± 0,2	0,7 ± 0,0	4,7 ± 0,4
COL 132	2,8 ± 0,4	0,8 ± 0,3	0,6 ± 0,1	4,5 ± 0,2
COL 133	2,3 ± 0,1	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,0	4,2 ± 0,0
COL 135	2,6 ± 0,2	0,5 ± 0,3	0,7 ± 0,1	4,1 ± 0,3
COL 136	2,6 ± 0,5	0,6 ± 0,4	0,6 ± 0,0	4,0 ± 0,4
COL 137	2,4 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1	4,2 ± 0,0
COL 138	2,4 ± 1,6	0,4 ± 0,2	0,6 ± 0,4	3,1 ± 2,1
COL 140	2,5 ± 0,3	0,4 ± 0,1	0,7 ± 0,1	4,2 ± 0,3
COL 142	2,5 ± 0,3	0,4 ± 0,3	0,8 ± 0,1	4,3 ± 0,7
COL 143	2,5 ±	0,6 ±	0,5 ±	2,4 ±

COL 144	2,4 ±	0,3 ±	0,7 ±	4,1 ±
COL 145	2,4 ± 0,2	0,4 ± 0,1	1,8 ± 0,8	3,8 ± 0,1
Colombia	1,8 ± 0,2	0,6 ± 0,2	0,2 ± 0,0	1,3 ± 0,1
Galeras	1,9 ± 0,4	0,7 ± 0,2	0,3 ± 0,1	1,3 ± 0,2
Paisa	2,4 ± 0,2	0,4 ± 0,0	0,8 ± 0,1	3,7 ± 0,4
Guaneña	2,5 ± 0,3	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,0	3,1 ± 0,1
Capiro	1,8 ± 0,0	0,7 ± 0,0	0,5 ± 0,0	1,4 ± 0,0
Suprema	1,9 ± 0,1	0,5 ± 0,0	0,2 ± 0,0	1,0 ± 0,0
CN4	1,4 ± 0,0	0,4 ± 0,0	0,4 ± 0,0	1,5 ± 0,0
CN9	1,3 ± 0,0	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,0	1,4 ± 0,0
CN8	1,9 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	2,2 ± 0,0
CN10	2,0 ± 0,0	0,5 ± 0,0	0,4 ± 0,0	2,4 ± 0,1
CN11	2,3 ± 0,0	0,4 ± 0,0	0,5 ± 0,0	2,8 ± 0,1
CN15	2,3 ± 0,0	0,5 ± 0,0	0,4 ± 0,0	2,6 ± 0,0
CN29	1,6 ± 0,0	0,4 ± 0,0	0,3 ± 0,0	1,5 ± 0,0
CN42	2,7 ± 0,0	0,6 ± 0,0	0,8 ± 0,0	3,2 ± 0,0
CN 121	1,9 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,4 ± 0,0	2,4 ± 0,0
CN124	1,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	1,8 ± 0,0
CN 139	1,5 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,4 ± 0,0	2,2 ± 0,0
CN143	2,6 ± 0,0	0,5 ± 0,0	0,5 ± 0,0	2,0 ± 0,0
CN148	1,8 ± 0,0	0,3 ± 0,0	0,3 ± 0,0	1,6 ± 0,0
CA-51	1,9 ± 0,0	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	1,4 ± 0,1
CA-59	2,0 ± 0,1	0,7 ± 0,0	0,7 ± 0,0	1,5 ± 0,1
CA-O4	2,2 ± 0,2	0,7 ± 0,0	0,7 ± 0,0	1,5 ± 0,2
CA-50	2,2 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,4 ± 0,1
CA-O9	2,3 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	1,4 ± 0,1
CA-64	2,3 ± 0,2	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,1	1,3 ± 0,2
CA-52	2,4 ± 0,3	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,1	1,5 ± 0,2

**Tabla 3-C:** Contenido de macrominerales expresado en mg/100 g de papa de papa en base seca

genotipo	Ca mg/100g	Mg mg/100g	Na mg/100g	K mg/100g	P mg/100g	S mg/100g
COL 2	35,0 ± 12,7	96,0 ± 5,7	15,2 ± 3,0	2550,0 ± 70,7	320,0 ± 42,4	152,5 ± 34,6
COL 3	36,7 ± 5,7	75,0 ± 8,7	40,3 ± 8,7	1773,3 ± 212,0	185,0 ± 43,3	127,7 ± 27,4
COL 4	47,0 ± 0,0	71,7 ± 9,8	27,3 ± 2,9	2173,3 ± 296,9	216,7 ± 15,3	110,3 ± 4,2
COL 8	76,7 ± 22,5	109,0 ± 7,0	78,3 ± 26,4	2700,0 ± 360,6	330,0 ± 86,6	154,7 ± 24,0
COL 13	45,0 ± 9,5	80,0 ± 8,0	25,7 ± 4,9	2400,0 ± 533,8	172,3 ± 45,1	98,3 ± 12,2
COL 14	63,0 ± 12,1	82,7 ± 1,5	16,2 ± 4,3	1786,7 ± 458,8	198,0 ± 49,1	122,0 ± 5,2
COL 15	59,0 ± 12,7	95,0 ± 8,5	19,0 ± 7,0	2850,0 ± 353,6	260,0 ± 42,4	115,5 ± 2,1
COL 17	44,0 ± 2,6	80,0 ± 7,5	33,3 ± 4,7	2266,7 ± 152,8	233,3 ± 5,8	126,3 ± 14,3
COL 19	102,7 ± 28,7	101,3 ± 9,9	31,7 ± 7,8	2466,7 ± 208,2	223,3 ± 32,1	134,7 ± 3,1
COL 20	40,0 ± 4,4	68,0 ± 9,5	27,7 ± 3,1	2073,3 ± 141,9	230,0 ± 36,1	141,0 ± 9,0
COL 23	196,5 ± 89,8	114,5 ± 16,3	85,5 ± 24,7	3650,0 ± 636,4	275,0 ± 7,1	117,5 ± 4,9
COL 24	58,3 ± 6,1	84,0 ± 2,6	38,0 ± 9,8	1963,3 ± 123,4	172,0 ± 17,0	111,3 ± 8,1
COL 27	53,3 ± 4,2	96,0 ± 9,6	26,7 ± 4,6	2233,3 ± 115,5	256,7 ± 20,8	164,3 ± 15,3
COL 30	62,3 ± 4,5	89,7 ± 4,9	17,4 ± 3,7	2100,0 ± 0,0	233,3 ± 11,5	134,7 ± 10,1
COL 31	28,4 ± 26,7	52,6 ± 50,9	28,8 ± 27,0	1420,0 ± 1296,9	158,0 ± 152,0	84,8 ± 81,3
COL 32	57,5 ± 4,9	126,0 ± 7,1	56,5 ± 13,4	3450,0 ± 70,7	390,0 ± 14,1	149,0 ± 14,1
COL 33	57,7 ± 12,5	74,3 ± 4,9	23,9 ± 6,1	2083,3 ± 325,3	198,0 ± 65,2	131,7 ± 13,9
COL 34	51,7 ± 27,6	71,3 ± 5,5	22,0 ± 5,2	2050,0 ± 221,1	183,0 ± 2,0	125,7 ± 3,8
COL 36	22,0 ± 4,6	95,0 ± 6,0	63,3 ± 12,1	1993,3 ± 11,5	204,0 ± 14,4	130,3 ± 2,5
COL 37	68,7 ± 20,6	96,7 ± 5,9	20,7 ± 8,1	2400,0 ± 200,0	226,7 ± 23,1	125,3 ± 13,6
COL 38	51,7 ± 11,1	82,3 ± 1,2	40,3 ± 6,8	2833,3 ± 208,2	260,0 ± 20,0	135,7 ± 8,6
COL 41	58,7 ± 20,3	91,7 ± 26,3	27,7 ± 1,5	2380,0 ± 552,4	247,3 ± 80,8	133,7 ± 43,7
COL 42	27,3 ± 5,5	116,0 ± 5,6	23,7 ± 6,4	2533,3 ± 208,2	219,0 ± 19,1	186,3 ± 14,6

COL 43	40,3 ± 11,5	100,7 ± 3,2	23,3 ± 7,6	2466,7 ± 57,7	204,3 ± 22,3	163,0 ± 12,3
COL 51	54,3 ± 27,5	102,7 ± 9,3	27,2 ± 12,5	2466,7 ± 208,2	276,7 ± 35,1	183,0 ± 27,0
COL 52	61,3 ± 9,2	100,3 ± 2,1	20,7 ± 5,9	2033,3 ± 57,7	243,3 ± 15,3	148,3 ± 10,1
COL 53	38,7 ± 4,0	111,7 ± 7,6	22,0 ± 2,6	2633,3 ± 57,7	216,3 ± 15,8	157,0 ± 15,9
COL 56	25,0 ± 5,3	74,3 ± 5,1	19,4 ± 5,4	2300,0 ± 346,4	221,7 ± 59,8	128,7 ± 11,0
COL 59	98,8 ± 95,8	94,0 ± 65,7	14,3 ± 11,8	2025,0 ± 1359,8	212,5 ± 159,9	117,0 ± 79,1
COL 61	± 8,1	± 19,1	± 5,9	± 685,1	± 104,4	± 23,7
COL 62	64,0 ± 37,6	110,0 ± 9,8	42,3 ± 11,7	2333,3 ± 152,8	201,7 ± 7,6	183,3 ± 14,3
COL 65	98,0 ± 12,5	112,3 ± 3,5	25,7 ± 9,1	2933,3 ± 251,7	293,3 ± 40,4	134,7 ± 9,3
COL 66	47,5 ± 2,1	78,5 ± 0,7	25,0 ± 1,4	2250,0 ± 70,7	199,0 ± 15,6	110,0 ± 0,0
COL 67	86,3 ± 32,5	79,3 ± 6,1	41,7 ± 5,7	2300,0 ± 173,2	175,7 ± 30,7	130,0 ± 10,1
COL 69	51,3 ± 1,5	81,7 ± 10,0	26,5 ± 7,3	2333,3 ± 351,2	219,3 ± 51,0	125,3 ± 11,9
COL 71	66,3 ± 31,9	88,0 ± 9,2	28,0 ± 13,2	2633,3 ± 115,5	220,0 ± 36,1	122,3 ± 9,1
COL 72	48,0 ± 5,7	98,5 ± 14,8	21,7 ± 4,7	2700,0 ± 141,4	280,0 ± 28,3	128,0 ± 22,6
COL 73	63,7 ± 6,1	112,0 ± 20,9	31,8 ± 12,8	3166,7 ± 57,7	340,0 ± 60,8	139,3 ± 19,6
COL 74	76,3 ± 19,3	93,3 ± 5,1	16,9 ± 5,1	2566,7 ± 230,9	211,0 ± 34,4	111,7 ± 11,2
COL 76	46,3 ± 13,8	87,7 ± 2,3	19,8 ± 2,8	2433,3 ± 152,8	223,7 ± 34,6	106,3 ± 8,1
COL 79	42,3 ± 15,4	79,3 ± 15,2	20,7 ± 6,0	2233,3 ± 208,2	197,7 ± 10,7	100,3 ± 9,1
COL 80	23,9 ± 6,7	84,3 ± 17,5	15,3 ± 4,3	2416,7 ± 475,2	253,3 ± 5,8	122,7 ± 7,1
COL 83	38,3 ± 25,9	45,8 ± 30,7	22,2 ± 20,2	1637,6 ± 1115,9	210,0 ± 153,8	86,0 ± 59,1
COL 86	46,5 ± 14,8	122,5 ± 4,9	111,0 ± 45,3	2200,0 ± 141,4	260,0 ± 0,0	132,0 ± 21,2
COL 87	50,0 ± 24,6	120,7 ± 12,7	37,3 ± 15,0	2133,3 ± 115,5	233,3 ± 11,5	124,7 ± 8,0
COL 88	68,3 ± 34,0	78,3 ± 6,0	27,7 ± 4,0	2016,7 ± 259,7	239,7 ± 46,4	120,3 ± 16,3
COL 91	35,0 ± 8,5	82,5 ± 2,1	31,5 ± 2,1	3200,0 ± 0,0	280,0 ± 28,3	174,5 ± 19,1
COL 92	56,3 ± 28,5	90,3 ± 18,0	37,7 ± 16,9	2566,7 ± 251,7	300,0 ± 62,4	141,7 ± 14,5
COL 93	87,0 ± 7,8	97,3 ± 2,5	37,0 ± 1,0	2900,0 ± 264,6	290,0 ± 45,8	132,3 ± 9,5
COL 94	46,3 ± 1,2	77,0 ± 9,5	21,6 ± 7,9	2800,0 ± 360,6	263,3 ± 50,3	154,0 ± 22,9
COL 96	99,0 ± 48,5	93,0 ± 9,5	82,7 ± 45,0	2500,0 ± 173,2	266,7 ± 64,3	160,7 ± 14,6

COL 99	41,0 ± 9,0	110,7 ± 18,6	27,5 ± 7,7	2833,3 ± 305,5	303,3 ± 25,2	170,7 ± 25,6
COL 100	50,0 ± 0,0	98,0 ± 9,9	51,5 ± 33,2	2350,0 ± 70,7	265,0 ± 77,8	123,5 ± 40,3
COL 101	59,0 ± 21,0	91,7 ± 2,1	32,7 ± 5,5	2003,3 ± 295,0	227,7 ± 49,7	138,0 ± 17,3
COL 102	99,0 ± 25,2	109,7 ± 11,6	50,3 ± 9,5	2800,0 ± 264,6	276,7 ± 40,4	117,7 ± 15,0
COL 104	42,7 ± 4,5	67,3 ± 6,1	16,9 ± 5,9	2093,3 ± 272,3	210,0 ± 26,1	114,3 ± 3,2
COL 106	73,0 ± 9,8	76,0 ± 5,2	24,0 ± 1,7	2233,3 ± 208,2	195,3 ± 30,3	95,0 ± 0,0
COL 108	83,0 ± 7,8	98,0 ± 4,6	49,3 ± 2,5	2600,0 ± 458,3	270,0 ± 88,9	156,7 ± 21,0
COL 109	65,7 ± 43,2	85,7 ± 17,7	26,0 ± 10,3	2166,7 ± 152,8	200,3 ± 17,6	106,3 ± 3,1
COL 110	92,3 ± 31,8	95,3 ± 24,6	19,6 ± 0,4	2733,3 ± 665,8	214,3 ± 85,6	137,3 ± 28,7
COL 112	91,3 ± 51,7	84,7 ± 13,9	47,7 ± 15,3	3433,3 ± 450,9	201,3 ± 8,1	140,3 ± 12,3
COL 113	25,5 ± 17,0	51,3 ± 34,2	17,5 ± 11,8	1950,0 ± 1302,5	148,8 ± 100,4	87,5 ± 58,4
COL 116	85,5 ± 29,0	127,5 ± 10,6	35,0 ± 2,8	2750,0 ± 70,7	250,0 ± 14,1	149,0 ± 2,8
COL 119	64,3 ± 18,6	119,3 ± 6,1	23,5 ± 4,3	2700,0 ± 173,2	340,0 ± 36,1	172,7 ± 9,1
COL 120	134,3 ± 68,4	108,3 ± 15,7	28,1 ± 9,4	2366,7 ± 321,5	212,7 ± 56,0	126,7 ± 21,0
COL 121	79,7 ± 15,9	107,3 ± 15,4	16,3 ± 4,3	2700,0 ± 300,0	293,3 ± 41,6	128,0 ± 24,0
COL 122	91,7 ± 75,6	129,0 ± 19,0	43,3 ± 3,5	2800,0 ± 264,6	223,3 ± 25,2	155,0 ± 10,6
COL 125	46,0 ± 10,4	89,0 ± 13,9	24,0 ± 3,5	2266,7 ± 305,5	283,3 ± 15,3	144,0 ± 4,4
COL 126	54,0 ± 10,6	107,7 ± 37,6	22,9 ± 8,0	2400,0 ± 608,3	273,3 ± 127,4	163,3 ± 41,0
COL 127	35,5 ± 2,1	75,0 ± 7,1	16,3 ± 4,0	2350,0 ± 70,7	227,5 ± 46,0	98,5 ± 6,4
COL 128	55,7 ± 19,6	80,3 ± 3,8	17,0 ± 3,3	2433,3 ± 208,2	212,3 ± 16,6	111,3 ± 1,2
COL 132	58,0 ± 12,2	101,7 ± 1,5	28,2 ± 9,6	2500,0 ± 100,0	263,3 ± 5,8	149,7 ± 10,1
COL 133	46,0 ± 17,3	78,0 ± 7,9	18,1 ± 7,7	2046,7 ± 221,4	179,0 ± 27,1	117,0 ± 2,6
COL 135	78,3 ± 49,9	97,3 ± 29,9	34,4 ± 13,5	2500,0 ± 346,4	212,0 ± 42,6	140,0 ± 10,0
COL 136	88,0 ± 13,9	100,7 ± 16,3	24,0 ± 14,8	1103,3 ± 380,2	226,7 ± 47,3	120,3 ± 18,2
COL 137	65,7 ± 7,6	85,7 ± 2,3	31,0 ± 9,6	2500,0 ± 0,0	230,0 ± 10,0	129,0 ± 9,5
COL 138	38,8 ± 26,1	61,8 ± 41,3	33,5 ± 22,3	1850,1 ± 1234,1	177,5 ± 119,8	120,0 ± 81,6
COL 140	66,0 ± 10,5	73,7 ± 6,4	21,1 ± 3,9	2010,0 ± 85,4	201,0 ± 44,2	125,7 ± 21,0
COL 142	85,3 ± 41,6	98,7 ± 19,9	34,0 ± 4,6	2196,7 ± 366,1	237,0 ± 67,5	141,0 ± 25,2
COL 143	36,0 ±	104,0 ±	23,0 ±	2400,0 ±	230,0 ±	167,0 ±

COL 144	47,0 ±	86,0 ±	12,0 ±	2400,0 ±	220,0 ±	137,0 ±
COL 145	60,0 ± 20,5	74,0 ± 7,5	44,7 ± 8,3	2200,0 ± 200,0	199,7 ± 46,4	119,0 ± 16,5
Colombia	15,5 ± 0,2	99,5 ± 13,4	1,0 ± 0,2	2400,0 ± 141,4	217,0 ± 32,5	118,5 ± 3,5
Galeras	12,4 ± 5,6	95,0 ± 24,6	1,2 ± 0,8	1963,3 ± 123,4	162,7 ± 23,4	108,3 ± 35,7
Paisa	43,3 ± 13,7	90,3 ± 4,9	60,3 ± 19,6	2566,7 ± 351,2	240,0 ± 10,0	122,0 ± 4,4
Guaneña	40,3 ± 13,6	113,7 ± 9,6	11,6 ± 2,4	2466,7 ± 251,7	243,3 ± 41,6	146,0 ± 13,1
Capiro	16,0 ± 0,4	107,7 ± 1,2	1,9 ± 0,1	1903,3 ± 40,4	145,0 ± 1,0	90,7 ± 1,5
Suprema	11,6 ± 0,1	84,5 ± 0,7	0,6 ± 0,0	1840,0 ± 28,3	113,0 ± 1,4	82,5 ± 0,7
CN4	17,2 ± 0,7	88,3 ± 0,6	6,0 ± 0,0	2033,3 ± 57,7	216,7 ± 5,8	109,0 ± 2,0
CN9	24,3 ± 0,6	79,7 ± 2,1	4,8 ± 0,1	1810,0 ± 34,6	177,3 ± 3,5	70,7 ± 2,1
CN8	48,0 ± 1,0	92,0 ± 1,5	24,5 ± 0,6	2400,0 ± 0,0	260,0 ± 0,0	95,5 ± 1,5
CN10	18,1 ± 0,6	108,3 ± 1,2	12,8 ± 0,1	2300,0 ± 173,2	306,7 ± 5,8	147,3 ± 2,3
CN11	78,5 ± 2,1	116,0 ± 0,0	9,3 ± 0,1	2500,0 ± 565,7	315,0 ± 7,1	122,0 ± 1,4
CN15	24,7 ± 0,6	88,3 ± 1,5	7,9 ± 0,1	2666,7 ± 57,7	210,0 ± 0,0	135,0 ± 1,0
CN29	20,5 ± 0,8	73,3 ± 1,2	4,8 ± 0,1	2066,7 ± 57,7	175,0 ± 1,0	91,3 ± 1,5
CN42	22,5 ± 0,7	105,5 ± 0,7	11,8 ± 0,1	2850,0 ± 70,7	420,0 ± 14,1	167,0 ± 2,8
CN 121	13,8 ± 0,3	82,0 ± 1,7	4,9 ± 0,1	2600,0 ± 100,0	306,7 ± 5,8	117,3 ± 1,5
CN124	20,3 ± 0,6	76,0 ± 1,0	3,2 ± 0,3	2133,3 ± 57,7	220,0 ± 0,0	81,3 ± 1,2
CN 139	11,4 ± 0,1	77,0 ± 1,7	5,0 ± 0,2	1880,0 ± 20,0	121,7 ± 3,2	101,0 ± 2,6
CN143	25,3 ± 0,6	128,3 ± 2,1	8,6 ± 0,1	2766,7 ± 152,8	316,7 ± 5,8	135,7 ± 3,2
CN148	33,0 ± 0,0	89,0 ± 1,0	10,8 ± 0,1	2400,0 ± 100,0	226,7 ± 5,8	88,0 ± 1,0
CA-51	13,5 ± 0,6	102,3 ± 11,2	0,8 ± 0,1	2433,3 ± 57,7	220,0 ± 26,5	120,7 ± 9,0
CA-59	10,5 ± 4,2	103,7 ± 7,2	0,7 ± 0,2	2300,0 ± 264,6	174,3 ± 11,9	120,3 ± 8,5
CA-O4	12,6 ± 3,1	107,0 ± 1,0	0,9 ± 0,2	2366,7 ± 115,5	162,0 ± 26,9	141,3 ± 8,3
CA-50	16,6 ± 4,5	104,3 ± 2,9	0,7 ± 0,1	2233,3 ± 57,7	188,3 ± 38,8	127,3 ± 2,1
CA-O9	12,1 ± 3,2	102,7 ± 3,5	0,7 ± 0,3	2333,3 ± 57,7	197,0 ± 3,6	133,7 ± 7,0
CA-64	10,9 ± 1,8	92,3 ± 8,1	1,0 ± 0,0	2466,7 ± 152,8	187,7 ± 4,2	151,0 ± 8,7
CA-52	20,7 ± 7,8	98,0 ± 1,7	0,9 ± 0,2	2200,0 ± 17,2	160,7 ± 19,8	127,7 ± 15,0

## D. ICP-OES

Para la determinación del contenido mineral por ICP-OES se contrataron los servicios del Waite Analytical Services, de la Escuela de Agricultura, Alimentación y Vino de la Universidad de Adelaide en Australia, los resultados de la validación del método empleado han sido previamente reportados en la literatura (Wheal, Fowles, & Palmer, 2011)

**Tabla 1-D:** Curvas de calibración por ICP-OES\*.

	<b>Valor máximo de la curva de calibración (mg/L)</b>	<b>Tipo de curva</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
K	2000	Cúbica	1,00
Ca	1600	Cuadrática	1,00
Mg	400	Cuadrática	0,99
Na	1000	Lineal	1,00
P	500	Cuadrática	1,00
S	1000	Cuadrática	1,00
Fe	400	Cuadrática	1,00
Zn	40	Lineal	1,00
Cu	20	Lineal	0,99
Mn	60	Lineal	0,99

\*Los valores reportados tomados de esta tabla fueron tomados de:

**Tabla 2-D:** Porcentaje de recuperación y %RDS para el lote 1 con un material certificado NIST rice flour (RF) 1568<sup>a</sup>.

	<b>Ca</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>Na</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Zn</b>
Concentración de referencia*	118,0	2,4	7,4	1280,0	560,0	20,0	6,6	1530,0	1200,0	19,4
Rango +/-	6,0	0,3	0,9	8,0	20,0	1,6	0,8	80,0	20,0	0,5
Promedio concentración (medidas)*	128,0	2,5	6,2	1261,0	491,8	20,9	10,5	1612,3	1158,1	19,7
Desviación estándar	1,8	0,0	0,1	15,2	6,5	0,2	1,2	24,8	10,5	0,2
%Recuperación	108,4	104,0	83,6	98,5	87,8	104,4	159,5	105,4	96,5	101,6
%RDS	1,4	1,8	2,2	1,2	1,3	1,0	11,5	1,5	0,9	1,0

\*mg/kg. El promedio de la concentración de las medidas en el lote corresponde a 8 muestras.

**Tabla 3-D:** Porcentaje de recuperación y %RDS para el lote 2 con un material certificado NIST rice flour (RF) 1568<sup>a</sup>.

	<b>Ca</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>K</b>	<b>Mg</b>	<b>Mn</b>	<b>Na</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Zn</b>
Concentración de referencia*	118,0	2,4	7,4	1280,0	560,0	20,0	6,6	1530,0	1200,0	19,4
Rango +/-	6,0	0,3	0,9	8,0	20,0	1,6	0,8	80,0	20,0	0,5
Promedio concentración (medidas)*	125,9	2,5	6,1	1246,1	486,9	20,8	11,4	1596,2	1150,2	19,4
Desviación estándar	1,3	0,0	0,1	13,2	4,9	0,4	0,3	19,9	13,1	0,2
%Recuperación	106,7	102,2	82,5	97,4	86,9	103,8	172,7	104,3	95,8	100,2
%RDS	1,0	1,3	1,7	1,1	1,0	1,8	2,4	1,2	1,1	0,8

\*mg/kg. El promedio de la concentración de las medidas en el lote corresponde a 8 muestra

## E. Estadística análisis multivariado

**Tabla 1-E:** Eigenvalores y varianza para el análisis de componentes principales para el análisis proximal (capítulo 1).

<b>Número</b>	<b>Eigenvalor</b>	<b>Porcentaje de Varianza</b>	<b>Porcentaje Acumulado</b>
1	4,3	47,4	47,4
2	1,4	15,5	62,9
3	1,1	12,3	75,2
4	0,8	9,3	84,5
5	0,7	8,0	92,5
6	0,6	7,5	100,0
7	$1,8 \times 10^{-3}$	0,0	100,0
8	$1,3 \times 10^{-5}$	0,0	100,0
9	$4,3 \times 10^{-7}$	0,0	100,0

**Tabla 2-E:** Eigenvectores para el análisis de componentes principales para el análisis proximal (capítulo 1).

	<b>componente 1</b>	<b>componente 2</b>	<b>componente 3</b>
<b>Materia seca</b>	-0,04	-0,41	-0,56
<b>Proteína</b>	0,26	-0,41	0,40
<b>Grasa</b>	0,08	-0,62	0,06
<b>Cenizas</b>	0,25	-0,18	0,40
<b>Fibra dietaria soluble</b>	0,23	-0,24	-0,53
<b>Fibra dietaria insoluble</b>	0,41	0,32	-0,02
<b>FDT</b>	0,45	0,20	-0,22
<b>Carbohidratos</b>	-0,46	0,14	-0,13
<b>Energía</b>	-0,47	-0,17	0,12

**Tabla 3-E:** Eigenvalores y varianza para el análisis de componentes principales para el contenido de minerales (capítulo 2).

<b>Componente</b>	<b>Eigenvalor</b>	<b>Porcentaje de Varianza</b>	<b>Porcentaje Acumulado</b>
1	<b>4,4</b>	<b>44,1</b>	<b>44,1</b>
2	<b>1,6</b>	<b>16,6</b>	<b>60,7</b>
3	<b>1,4</b>	<b>13,9</b>	<b>74,6</b>
4	0,6	6,0	80,6
5	0,5	5,0	85,6
6	0,4	4,2	89,8
7	0,4	4,0	93,8
8	0,3	3,1	96,9
9	0,2	1,8	98,8
10	0,1	1,2	100,0

**Tabla 4-E:** Eigenvectores para el análisis de componentes principales para el contenido mineral (capítulo 2)

	<b>componente 1</b>	<b>componente 2</b>	<b>componente 3</b>
Fe	0,36	-0,22	0,30
Mn	0,28	-0,11	0,60
Cu	0,26	-0,06	-0,50
Zn	0,34	-0,32	-0,33
Ca	0,37	-0,34	0,11
Mg	0,26	0,49	0,26
Na	0,34	-0,30	-0,13
K	0,35	0,30	0,08
P	0,31	0,37	-0,17
S	0,28	0,40	-0,24

**Tabla 5-E:** Eigenvalores y varianza para el análisis de componentes principales actividad antioxidante por métodos químicos (capítulo 3).

<b>Componente</b>	<b>Eigenvalor</b>	<b>Porcentaje de Varianza</b>	<b>Porcentaje Acumulado</b>
<b>1</b>	<b>3,1</b>	<b>62,3</b>	<b>62,3</b>
<b>2</b>	<b>1,1</b>	<b>22,8</b>	<b>85,0</b>
3	0,5	10,3	95,3
3	0,1	2,9	98,3
5	0,1	1,7	100,0

**Tabla 6-E:** Eigenvectores para el análisis de componentes principales para actividad antioxidante (capítulo 3)

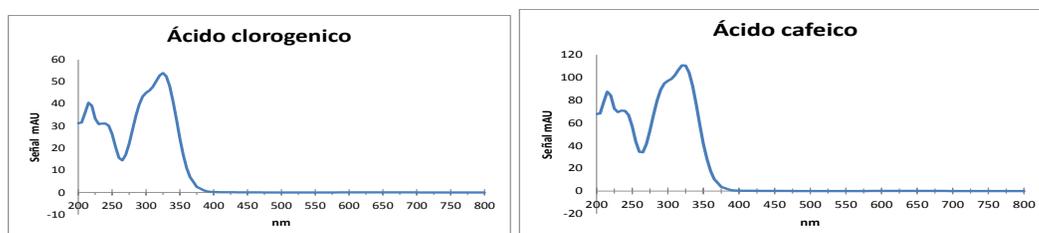
	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>
DPPH	-0,2	-0,9
ABTS	-0,5	0,4
FRAP	-0,5	-0,3
FT	-0,5	0,2
FLAT	-0,5	0,0

## F. Anexo: Curvas de calibración y Espectros Uv Vis

**Tabla 1-F:** Curvas de calibración

Método	Curva de calibración
ABTS (Trolox)	$Y=0,0003x+0,0356$ $r^2=0,985$
FRAP ( Trolox)	$Y=0,0003x+0,0193$ $r^2=0,991$
FRAP ( FeSO <sub>4</sub> )	$Y=0,0012x+0,0286$ $r^2=0,997$
DPPH (Trolox)	$Y=0,0508x+3,9165$ $r^2=0,996$
Fenoles totales (Ácido Gálico)	$Y=0,0041x+0,0531$ $r^2=0,999$
Flavonoides totales (Kaempferol)	$Y=0,055x-0,0226$ $r^2=0,992$
Flavonoides totales (Miricetin)	$Y=0,051x+0,0007$ $r^2=0,994$
Ácido Clorogénico	$Y=0,3982x-0,0581$ $r^2=0,997$
Ácido Neo-Clorogénico	$Y=0,8411x+0,0778$ $r^2=0,999$
Ácido Cafeico	$Y=0,5807x-0,0594$ $r^2=0,998$

**Figura 1-F:** Espectros Uv- Vis para ácido clorogénico y ácido cafeico



## G. Anexo: Divulgación de los resultados

### Artículos publicados

Peña, C., Restrepo-Sánchez, L.-P., Kushalappa, A., Rodríguez-Molano, L.-E., Mosquera, T., & Narváez-Cuenca, C.-E. (2015). Nutritional contents of advanced breeding clones of *Solanum tuberosum* group Phureja. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1, Part 1), 76-82. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.038>



Peña, C., & Restrepo-Sánchez, L.-P. (2013). Compuestos fenólicos y carotenoides en la papa: Revisión. *Actualización en nutrición*, 14(1), 25-32  
doi:[http://www.revistasan.org.ar/pdf\\_files/trabajos/vol\\_14/num\\_1/RSAN\\_14\\_1\\_25.pdf](http://www.revistasan.org.ar/pdf_files/trabajos/vol_14/num_1/RSAN_14_1_25.pdf)

ARTÍCULO ORIGINAL

COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAROTENOIDEOS EN LA PAPA: REVISIÓN

CLARA BIANETH PEÑA, LUZ PATRICIA RESTREPO

COMPUESTOS FENÓLICOS Y CAROTENOIDEOS  
EN LA PAPA: REVISIÓN.

PHENOLIC COMPOUNDS AND CAROTENOIDS  
IN POTATOES – REVISION.

CLARA BIANETH PEÑA<sup>1\*</sup>, LUZ PATRICIA RESTREPO<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>-Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Interfacultades,  
Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

\*Correspondencia: [clbpename@unal.edu.co](mailto:clbpename@unal.edu.co)

## Participación en eventos

7<sup>th</sup> international Conference and Exhibition on Nutraceuticals and Functional Foods. Bioactive compounds in new Colombian cultivars of *Solanum tuberosum* group Phureja. Presentación oral. Narváez-Cuenca, C.-E., Peña, C., Restrepo-Sánchez, L.-P., Rodríguez-Molano, L.-E., & Mosquera, T. Estambul, Turquía.

XXVI CONGRESO ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE LA PAPA-ALAP (2014). Contenido de proteína, hierro y zinc en el germoplasma colombiano de *Solanum tuberosum* grupo Phureja. Ponencia Oral. Peña, C.B; Restrepo, L.P; Narváez, C; Kushalappa, A. y Mosquera, T. Bogotá, Colombia.

XXI CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE LOS ALIMENTOS Innovación y seguridad: claves para el desarrollo de alimentos saludables (2013). Contenido nutricional en cultivares colombianos de *Solanum tuberosum* Grupo Andigenum (*solanum phureja*).Poster. Peña, C.B; Restrepo, L.P; Kushalappa, A. y Mosquera, T. Antofagasta, Chile.

Taller Internacional: La papa en la seguridad alimentaria y calidad de la nutrición humana. (2013). Contenido nutricional en clones de *Solanum tuberosum* Grupo Andigenum (*solanum phureja*).Poster. Peña, C.B; Restrepo, L.P; Kushalappa, A. y Mosquera, T. Bogotá, Colombia.