

# CARACTERIZACIÓN MORFOAGRONOMICA DE GENOTIPOS PROMISORIOS DE PAPA CRIOLLA (*Solanum tuberosum* L. Grupo Andigenum) EN NARIÑO.

## MORPHO-AGRONOMIC CHARACTERIZATION OF PROMISING NATIVE CREOLE POTATO GENOTYPES (*Solanum tuberosum* L. Andigenum group) IN NARIÑO.

Isabel Cristina Madroño<sup>1\*</sup>, Jerson Esteban Rosero M<sup>2</sup>, Luis Ernesto Rodríguez M<sup>3</sup>, Jorge Fernando Navia E<sup>4</sup>, Carlos Andrés Benavides<sup>5</sup>

Recibido para publicación: Junio 21 de 2013 - Aceptado para publicación: Diciembre 05 de 2013

### RESUMEN

En el centro experimental OBONUCO-FEDEPAPA, se caracterizó morfoagronómicamente 102 genotipos de papa criolla *Solanum tuberosum* L. Grupo Andigenum provenientes de 28 familias de hermanos completos obtenidos a partir del cruzamiento de progenitores diploides silvestres y cultivados, pertenecientes a las especies *Solanum bukasovii* y *Solanum tuberosum* L. Grupo Andigenum. Se evaluaron 36 características en cuatro etapas del cultivo. El registro de los datos se basó en la "Guía para las Caracterizaciones Morfológicas Básicas en Colecciones de Papas Nativas" propuesta por el CIP. Dentro del análisis se registraron 31 variables cualitativas y cinco cuantitativas; que se sometieron al análisis de componentes principales (ACP) para variables cuantitativas y análisis de correspondencias múltiples (ACM) para cualitativas. En el ACP, el primer eje explicó el 61,02% de la variación, conformado por las variables, número de inter-hojuelas entre folíolos laterales y rendimiento; la clasificación jerárquica de acuerdo al ACP determinó cuatro grupos a una distancia euclidiana de nueve. El análisis ACM, determinó cinco ejes que explicaron el 27,60% de la variabilidad. El análisis de conglomerados arrojó un dendograma que de acuerdo a la clasificación jerárquica definió cinco grupos, sobresaliendo los descriptores vigor y habito de crecimiento. Los genotipos: Cr. Colombia, Cr. Galeras, Cr. Latina y Cr. Guaneña y los pertenecientes a sus cruzamientos fueron los que presentaron mayores rendimientos entre 7,47 y 3,19 kg/surco mientras que el genotipo 96 presentó el menor rendimiento de toda la colección con 0,14 kg/surco.

**Palabras clave:** Componentes principales, correspondencias múltiples, descriptores, silvestres, variabilidad.

<sup>1</sup>Ingeniera Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia, imadronero@udenar.edu.co.

<sup>2</sup>Ingeniero Agroforestal, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia. jroseromorán@gmail.com.

<sup>3</sup>Profesor Asociado. I.A, Ph.D. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. lerodriguezmo@unal.edu.co.

<sup>4</sup>Profesor Asociado. I.A., Ph.D. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia. jornavia@gmail.com

<sup>5</sup>Profesor Tiempo completo ocasional, I.A M.Sc. Facultad de ciencias agrícolas. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia. carlosandresbenavides@yahoo.es.

## ABSTRACT

One-hundred and two creole potato *Solanum tuberosum* L. genotypes from the Andigenum group were morpho-agronomically characterized in the OBONUCO-FEDEPAPA experimental center. These genotypes were originated from 28 full-sib families obtained by crossing wild and cultivated diploid progenitors from the species *Solanum tuberosum* L. and *Solanum bukasovii* Andigenum group. Thirty-six characteristics were evaluated in four stages of the crop. Data was recorded based on the "Guide to Basic Morphological Characterization in Native Potato Collections", proposed by the CIP. Thirty-one qualitative and five quantitative variables were recorded in the analysis, and were subjected to a principal components analysis (PCA) for quantitative variables and a multiple correspondence analysis (MCA) for qualitative variables. In the PCA, the first axis explained 61.02% of the variation, consisting of the variables: number of inter-flakes between lateral leaflets and yield; the hierarchical classification according to the PCA identified four groups at a Euclidean distance of nine. The MCA analysis identified five axes that explained 27.60% of the variability. Cluster analysis showed a dendrogram that defined five groups according to the hierarchical classification, with vigor and growth habit descriptors as the most outstanding. The Cr. Colombia, Cr. Galeras, Cr. Latina, and Cr. Guaneña genotypes, as well as those belonging to their crosses, showed the highest yields between 7.47 and 3.19 kg, while genotype 96 showed the lowest performance of the entire collection with 0.14 kg.

**Palabras clave:** Main components, multiple correspondences, descriptors, wildtypes, variability.

## INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) ha sido considerada como uno de los principales cultivos agrícolas a nivel mundial en cuanto a superficie, ubicada detrás de los cereales y algunos cultivos destinados a la agroindustria, como la soya y la caña de azúcar y conjuntamente con el maíz, el trigo y el arroz, representan los cuatro rubros alimenticios básicos de la seguridad y soberanía alimentaria en variadas formas de consumo por los diferentes segmentos del mercado, ocupa un lugar importante en la agricultura, economía y seguridad alimentaria, situándose en el tercer cultivo de mayor consumo en el mundo (Hartmann et al. 2011). Esta especie para su cultivo se propaga clonalmente, es mayoritariamente autotetraploide, altamente heterocigota y sufre depresión aguda por endogamia (The Potato Genome Sequencing Consortium – PGSC. 2011). Asimismo se

considera como la mayor fuente de nutrición e ingreso económico para muchas sociedades (Spooner y Hetterscheid, 2005; Ovchinnikova et al. 2011) por ser un cultivo primario básico en todo el mundo (Ovchinnikova et al. 2011). Los tubérculos de la papa son importantes en la dieta global por ser fuente de almidón, proteínas, antioxidantes y vitaminas, además de ser un órgano de almacenamiento y propagación vegetativa (PGSC 2011). Se espera, que en el 2020, la demanda de papa sea de 650,60 millones de toneladas, el doble de la consumida en 2007 que fue de 325,30 millones de toneladas (FAO 2011).

A lo largo de la historia se han presentado diferentes puntos de vista entre los taxónomos que se han encargado de la clasificación de la papa (Rodríguez 2009). Es por eso que la papa criolla ha sido clasificada de diversas formas, como *Solanum phureja* (Bukasov 1971; Lechnovich 1971; Hawkes

1990; Ochoa 1999), *Solanum tuberosum* Grupo Phureja (Dodds 1962, Huamán y Spooner 2002), y recientemente como *Solanum tuberosum* Grupo Andigenum (Spooner et al. 2007; Rodríguez et al. 2010).

En Colombia, se cultiva entre los 2000 y los 3000 msnm, siendo óptima para su cultivo la altura comprendida entre los 2.300 y los 2.800 msnm (Becerra et al. 2007). En un rango de temperatura cuyo valor medio oscila entre 10 y 20°C, en suelos con textura franca y pH entre 5,2 y 5,9 (Pérez et al. 2008). El nombre de papa criolla corresponde a los morfotipos que presentan tubérculos con color de piel y carne amarillo (fenotipo yema de huevo) (Rodríguez et al. 2009), crecen extensamente en los Andes, desde el occidente de Venezuela hasta el centro de Bolivia (Ghislain et al. 2006), con un centro importante de diversidad localizado en el departamento de Nariño (Rodríguez et al. 2009). Estas se caracterizan por presentar adaptación a días cortos y brotación en el momento de la cosecha (Huamán y Spooner 2002). Sin embargo, (Ghislain et al. 2006) proponen refinar la definición del grupo Phureja, incluyendo cultivares con ausencia de periodo de dormancia independientemente de su nivel de ploidía.

La papa es uno de los cultivos de mayor importancia socio-económica debido a que juega un papel fundamental en la canasta familiar colombiana, el país cuenta con un banco de germoplasma que conserva 1.000 accesiones, dentro de las cuales se pueden encontrar 400 especies de papa nativas diferentes, provenientes de las diferentes zonas productoras de papa del país. El germoplasma de las papas nativas ha sido conservado en la

colección central colombiana de papa (C.C.C.) desde el año 1948, cuenta actualmente con una existencia aproximada de 2985 accesiones de especies cultivadas y silvestres de papa en el Centro de Investigación Tibaitatá de CORPOICA (Moreno y Valbuena 2006).

El área de papa sembrada en el país para el año 2011 fue de 128.310 ha, con una producción total de 2.638.900 t. En el departamento de Nariño para este mismo año, fueron reportadas 21.230 ha sembradas, con una producción de 470.100 toneladas, ubicando a este como el cuarto productor de papa en Colombia (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - MADR 2011). En este departamento las zonas de producción se encuentran ubicadas entre los 2.700 y 3.200 msnm, donde las condiciones climáticas favorables durante casi todo el año, permiten desarrollar cultivos escalonados (Peña 2000). En 2009, se reportó que el 10% de la producción de papa en Nariño fue de la variedad criolla, la cual se cultiva en mayor cantidad en los municipios de Córdoba, Gualmatán, Ipiales, Puerres, El Encano, Pasto, Potosí, Pupiales y Tuquerres, para un total de 2051 ha cosechadas (MADR 2010).

En el departamento de Nariño existen variedades nativas que han estado expuestas a la degradación genética por la introducción de variedades mejoradas (Navarro et al. 2010). Aunque existen cultivares mejorados genéticamente con buenas cualidades morfológicas y agronómicas de los cuales aún no se conoce su potencial en cuanto a variabilidad bajo estas condiciones agroecológicas. A pesar de la gran diversidad y potencial presente en el Grupo Andigenum, (Huamán y Spooner 2002), es necesario profundizar en la investigación

que conduzca a identificar y utilizar genes de interés presentes en las especies diploides cultivadas, con el objeto de disponer de nuevas variedades que respondan a las necesidades de productores y procesadores. Moreno y Valbuena (2006), afirman que para hacer una eficiente utilización de estos recursos genéticos es necesario tener un conocimiento claro de su potencial en cuanto a variabilidad genética, el cual se logra a través de su caracterización.

La caracterización fenotípica y agronómica en papa se refiere respectivamente al registro de una serie de variables cualitativas y cuantitativas que se realiza mediante un conjunto de descriptores previamente elaborados y estandarizados, lo cual facilita el intercambio de información y germoplasma entre programas de mejoramiento genético (Hidalgo 2003).

Para el año 2010, Navarro et al. (2010) caracterizaron 19 genotipos de *S. tuberosum* y *S. phureja*, encontrando que las características cuantitativas de mayor aporte a los componentes principales fueron longitud de foliolo, diámetro de la planta y días a floración. Las variables cualitativas de mayor aporte a los ejes vectoriales fueron color de cáliz, coloración del pedicelo, intensidad de la coloración de la corola, color de yemas del tubérculo y viabilidad de polen.

Las caracterizaciones morfológicas también son útiles a la hora de encontrar duplicados dentro de bancos de germoplasma, como lo confirman, (Vásquez et al. 2006), quienes realizaron la detección de posibles duplicados dentro de la colección central colombiana de papa (CCC) *S. tuberosum* spp andigena a partir de caracteres morfológicos, encontrando que las variables cualitativas que mejor discriminaron

la colección fueron los caracteres color primario y secundario de piel de tubérculo, color secundario de carne de tubérculo y color primario y secundario de flor. La caracterización fenotípica y agronómica, tanto de accesiones introducidas como de las progenies derivadas de éstas permite identificar germoplasma elite para ser utilizado como futuros progenitores en los programas de mejoramiento genético.

La Universidad Nacional de Colombia en el año 2009 con su programa de mejoramiento genético y a través del proyecto de desarrollo de genotipos promisorios de papa a nivel diploide produjo algunos clones mejorados de papa criolla calificados como promisorios gracias a que después de un fuerte proceso de selección fueron elegidos por sus características superiores en cuanto a caracteres de rendimiento, calidad, susceptibilidad a enfermedades, plagas y comportamiento agronómico, este proceso se realizó en parcelas de productores que acompañaron el proceso de selección.

Se hizo necesario evaluar las características agronómicas de estos clones y caracterizar su morfología en diferentes regiones productoras del país, esto con el fin de identificar aspectos particulares de su comportamiento que permitan integrarlos en diferentes programas y proyectos de investigación relacionados con la especie.

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivos fundamentales caracterizar morfoagronómicamente 102 genotipos promisorios de papas criollas *Solanum tuberosum* Grupo Andigenum, y determinar su potencial de rendimiento en tubérculo bajo las condiciones presentes en el municipio de Pasto.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la granja experimental Obonuco, a 2710 msnm, con temperatura promedio anual de 13°C y precipitación de 806 mm/año (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM 2009)

El diseño experimental correspondió a bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones, utilizando como testigos cuatro variedades comerciales (Criolla Colombia, Criolla Guaneña, Criolla Latina, Criolla Galeras). Se evaluaron 102 tratamientos que correspondieron a los clones caracterizados incluyendo los cuatro testigos regionales

provenientes del programa programa de desarrollo de genotipos promisorios de papa a nivel diploide, ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia, y financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en el año 2009 (Tabla 1).

La unidad experimental estuvo constituida por 1 surco de 2 m lineales. Donde de cada genotipo se sembraron seis tubérculos por surco, a una distancia de siembra de 0,3 m entre plantas y un metro entre surcos.

Se evaluaron un total de 36 características (Tabla 2), 31 cualitativas y cinco cuantitativas, en cuatro etapas distintas del cultivo mediante los siguientes descriptores: Floración: Cuando

**Tabla 1.** Genealogía de los 102 genotipos caracterizados de papa (*Solanum tuberosum* Grupo Andigenum)

Genotipos	Madre	Padre
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10.	Cr. Guaneña	Cr. Galeras
11	UN-col 30	UN-col 62
12, 13, 14, 15, 16, 102.	Cr. Colombia	Cr. Galeras
17, 18,19, 20, 21, 22.	Cr. Colombia	Cr. Latina
23, 24, 25	Cr. Colombia	S. stn 703285
26, 27.	S. stn 195188-7	S. phu 704218
28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37	Cr. Galeras	Cr. Colombia
38, 39, 40, 41,42.	S. stn 195188-12	Cr. Colombia
43,44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54,55, 56, 57, 58, 59, 86.	Cr. Latina	Cr. Colombia
60	S. stn 703285	Cr. Colombia
61,62, 63, 64, 65.	Cr. Galeras	Cr. Guaneña
66, 67.	UN-col 38	Cr. Galeras
68, 69, 70, 71, 72, 73.	Cr. Latina	UN-col 38
74, 75,76.	UN-col 38	Cr. Latina
77, 78, 79, 80,81, 82, 83, 84, 85.	Cr. Guaneña	L.P.(P.G-08)
87, 88, 89, 90.	S. gon 704481	Cr. Colombia
91, 92.	S. gon 703825	Cr. Colombia
93, 94, 95.	98-71-9	Cr. Colombia
96,97, 98.	S. gon 703279	Cr. Colombia
Cr. Colombia	Cr. Colombia	Cr. Colombia
Cr. Galeras	Cr. Galeras	Cr. Galeras
Cr. Guaneña	Cr. Guaneña	Cr. Guaneña
Cr. Latina	Cr. Latina	Cr. Latina

el cultivo de papa se encontró en plena floración, es decir cuando alcanzó más del 75% de flores abiertas. Fructificación: cuando las bayas tuvieron entre 1,0 a 1,5 cm de diámetro. Tubérculos a la cosecha: se realizó a los 120 días después de la siembra en donde se tomaron cinco tubérculos representativos por cada genotipo en evaluación. Brotamiento de tubérculos: cuando los brotes alcanzaron entre 1,2 a 2 cm de longitud; para esto se utilizó la

guía para las caracterizaciones morfológicas en papa, propuesta por el Centro Internacional de la Papa (CIP 2000).

Para la caracterización morfológica se observaron las cuatro plantas de cada genotipo y posteriormente se procedió a registrar la moda del carácter para cada una de las 29 variables. No se consideraron las plantas que crecieron en los extremos de los surcos para evitar el efecto de borde.

**Tabla 2.** Descriptores morfológicos en relación a la etapa del cultivo aplicados a la caracterización de *S. tuberosum* Grupo Andigenum

Etapa	Descriptor	Abreviatura
FLORACIÓN	Hábito de crecimiento de la planta	HCP
	Vigor	V
	<b>Forma de la hoja</b>	
	Tipo de disección	TDH
	Número de foliolos laterales	NFLH
	Número interhojuelas entre foliolos laterales	NIEFLH
	Número interhojuelas sobre peciolo	NISPH
	Color del tallo	CT
	Forma de las alas tallo	FAT
	Grado de floración	GF
	Forma de la corola	CF
	<b>Color de la flor</b>	CPF
	Color predominante	ICPF
	Intensidad de color predominante	CSF
	Color secundario	DCFS
	Distribución del color secundario	PA
	Pigmentación en anteras	PP
	Pigmentación en el pistilo	CC
	Color del cáliz	CP
	Color del pedicelo	
FRUCTIFICACIÓN	Color de baya	CB
	Forma de la baya	FB
	Madurez	M
TUBÉRCULOS A LA COSECHA	<b>Color de piel del tubérculo</b>	CPT
	Color predominante	ICPT
	Intensidad del color predominante	CST
	Color secundario	DCST
	Distribución del color secundario	
	<b>Forma del tubérculo</b>	FGT
	Forma general	VFT
	Variante de forma	POT
	Profundidad de ojos	
	<b>Color de carne de tubérculo</b>	CPCT
Color predominante	CSCT	
Color secundario	DCSCT	
Distribución del color secundario	GE	
Gravedad específica	R	
Rendimiento		
BROTAMIENTO	<b>Color del brote</b>	CPB
	Color predominante	CSB
	Color secundario	DCSB
	Distribución del color secundario	

Fuente: CIP 2000

Para el potencial de rendimiento, se registró el peso de los tubérculos por surco, para cada uno de los genotipos cosechados y se clasificaron los tubérculos de acuerdo a la norma técnica Colombiana 341 del año 1971, la cual clasifica los tubérculos por tamaño en 4 categorías (Tabla 3).

Para gravedad específica, por cada genotipo se tomó una muestra aleatoria de cinco tubérculos a los cuáles se les tomó el peso en aire y en agua; posteriormente se calculó la gravedad específica como lo propone (Talbut y Smith 1975), mediante la siguiente ecuación:

$$GE = \frac{\text{Peso en aire}}{\text{Peso en aire/Peso en agua}}$$

**Análisis estadístico:** La información obtenida se almacenó en una base de datos diferenciando variables cualitativas y cuantitativas. Los datos se procesaron en el software SPAD Versión 5.6. Se realizó análisis de correspondencias múltiples (ACM) para variables cualitativas y análisis de componentes principales (ACP) para variables cuantitativas con coeficientes de variación superiores al 25%. El análisis de clasificación jerárquica para el ACM y el ACP, se basó en el criterio de agregación de Ward. Para las variables gravedad específica y rendimiento se realizó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey.

**Tabla 3.** Clasificación de tubérculos por tamaño.

Denominación	Diámetro en Mm
Muy grande	Mayores de 90
Grande	65 - 90
Mediana	45 - 64
Pequeña	30 - 44

Fuente: ICONTEC 1971

**Tabla 4.** Descriptores cualitativos usados en la caracterización de *S. tuberosum* Grupo Andigenum

Descriptor	Abreviatura	Descriptor	Abreviatura
Hábito de crecimiento de la planta	HCP	Madurez	M
Vigor	V	Color de piel del tubérculo	
Forma de la hoja		Color predominante	CPT
Tipo de disección	TDH	Intensidad del color predominante	ICPT
Número de folíolos laterales	NFLH	Color secundario	CST
Número interhojuelas entre folíolos laterales	NIEFLH		
Número interhojuelas sobre peciolulos		Distribución del color secundario	DCST
Color del tallo	NISPH	Forma del tubérculo	
Forma de las alas tallo	CT	Forma general	FGT
Grado de floración	FAT	Variante de forma	VFT
Forma de la corola	GF	Profundidad de ojos	POT
Color de la flor	CF	Color de carne de tubérculo	
Color predominante	CPF	Color predominante	CPCT
Intensidad de color predominante	ICPF	Color secundario	CSCT
Color secundario	CSF	Distribución del color secundario	DCSCT
Distribución del color secundario	DCFS	Gravedad específica	GE
Pigmentación en anteras	PA	Rendimiento	R
Pigmentación en el pistilo	PP	Color del brote	
Color del cáliz	CC	Color predominante	CPB
Color del pedicelo	CP	Color secundario	CSB
Color de baya	CB	Distribución del color secundario	DCSB
Forma de la baya	FB		

Fuente: CIP 2000



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Análisis de correspondencias múltiples (ACM).** En la tabla 4 se relacionan los descriptores cualitativos utilizados para este análisis.

El análisis del histograma de valores propios (Tabla 5), permitió seleccionar los primeros cinco factores que explican en conjunto un 27,60% de la variabilidad debida a los descriptores cualitativos; sobresale el primer factor ya que por sí solo explica el 7,39% de la variabilidad. Los factores del segundo al quinto explicaron el 6,93%, 4,77%, 4,33% y 4,19% de la variabilidad respectivamente, estos porcentajes bajos se deben a la existencia de poca varianza como resultado de la asociación de muchas variables tales como tipo de disección (TDH) y forma de las alas del tallo (FAT), las cuales presentan pocas modalidades como lo afirman (Aramendiz et al. 2006).

Del análisis de contribuciones de las variables a la conformación de los ejes (Tabla 6), se

puede establecer que las variables que más contribuyen al factor uno fueron: color del pedicelo (CDP= 12,7), color secundario de brote (CSB= 12,2), distribución del color secundario del brote (DCSB= 11,4), color predominante del tubérculo (CPPT= 10,1), color secundario de piel de tubérculo (CSPT= 8,4), distribución del color secundario del tubérculo (DCSPT= 8,4), color del tallo (CT= 6,6) color de la pulpa del tubérculo (CPPUT= 5,4), y color del cáliz (CC= 4,2).

Esta situación se puede explicar debido a que los genotipos caracterizados provienen de cruzamientos de diferentes parentales diploides que poseen una alta variabilidad genética.

Además, el análisis mostró que entre las características con mayor diversidad en la evaluación se encuentran el color del pedicelo y el color predominante del tubérculo; concordando con lo reportado por Bernal et al. (2006) quienes afirman que en caracterizaciones morfológicas en papa, las variables relacionadas con color de tubérculo y de pedicelo, son de las más discriminantes

**Tabla 5.** Valores propios y porcentajes de varianza acumulada para los cinco primeros ejes del ACM.

N°	Valor propio	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	0,1743	7,39	7,39
2	0,1632	6,93	14,32
3	0,1124	4,77	19,09
4	0,1020	4,33	23,41
5	0,0986	4,19	27,60

**Tabla 6.** Valores propios y porcentajes de varianza acumulada para los cinco primeros ejes del ACM.

Categoría	Contribución acumulada
Color del pedicelo(CDP)	12,7
Color secundario de brote (CSB)	12,2
Distribución del color secundario del brote (DCSB)	11,4
Color predominante del tubérculo (CPPT)	10,1
Color secundario de piel de tubérculo (CSPT)	8,4
Distribución del color secundario del tubérculo (DCSPT)	8,4
Color del tallo (CT)	6,6
Color de la pulpa del tubérculo (CPPUT)	5,4
Color del cáliz (CC)	4,2



a la hora de establecer grupos en cuanto a características cualitativas. Así mismo, Ligarreto et al. (1997) confirma también que estas variables se puede considerar como discriminante a la hora de conformar grupos de clasificación.

Dentro de las variables que aportaron en mayor proporción al factor uno (Tabla 6) podemos destacar el color predominante del tubérculo que de acuerdo a Brown et al. (2003) se puede considerar como un descriptor de selección dentro de programas de mejoramiento de la especie, debido a la relación que tiene este aspecto versus el contenido de antocianinas y carotenoides cuyas propiedades antioxidantes hacen que se les atribuyan efectos positivos para prevención de enfermedades cardiovasculares principalmente. Moreno y Valbuena (2006), afirman que en la colección de papas nativas de Colombia predominan tubérculos de color de piel rojo intermedio, rojo morado, morado, morado oscuro y color de carne crema. Situación que corrobora los resultados obtenidos debido a que un gran

número de los clones evaluados provienen del cruzamiento de algunos de estos genotipos como parentales, mostrando entonces a esta variable como representativa en los grupos identificados (Figura 1).

### Análisis de clasificación

El análisis de clasificación basado en las características cualitativas para los 102 genotipos, permitió la conformación de cinco grupos bien definidos (Figura 1), a una distancia Euclidiana de 32; los genotipos agrupados en cada clase se observan en la (Tabla 7).

El primer grupo, está conformado por 43 genotipos que representan el 42,15% de toda la colección; en esta clase, el 100% de los genotipos poseen color secundario de brote violeta, el 77,78% presenta distribución de color secundario de brote en el ápice y el 73,17% poseen color predominante de brote blanco. En este grupo se encuentran genotipos provenientes en su mayoría de cruzamientos entre variedades como Criolla Galeras, Colombia y Latina que poseen estas características, motivo por el cual estas se

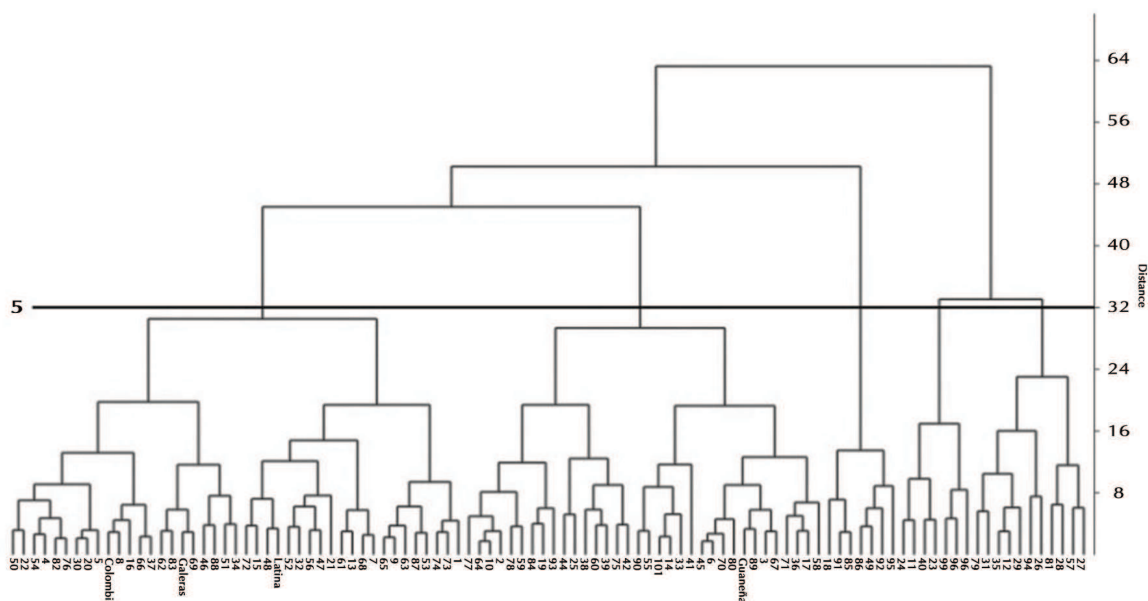


Figura 1. Dendrograma para ACM de los 102 genotipos de papa *S. tuberosum* Grupo Andigenum.

**Tabla 7.** Identificación de los genotipos que conforman cada uno de los cinco grupos en que se dividió la colección, con base en las variables cualitativas.

Grupo	No. de individuos	Porcentaje (%)	Genotipos																																										
1	43	42.15	1	73	74	53	87	63	9	65	7	68	13	61	21	47	56	32	52	Lat	48	15	72	34	51	88	46	69	Gal	83	62	37	66	16	8	Col	5	20	30	76	82	4	54	22	50
2	34	33.33	58	17	36	71	67	3	89	Gua	80	70	6	45	41	33	14	101	55	90	42	75	39	60	38	25	44	93	19	84	59	78	2	10	64	77									
3	7	6.86	95	92	49	86	85	91	18																																				
4	7	6.86	98	96	99	23	40	11	24																																				
5	11	10.78	27	57	28	81	26	94	29	12	35	31	19																																
Total	102	100																																											

encuentran también ubicados en este grupo (Tabla 7).

El segundo grupo estuvo conformado por 34 genotipos, que representan el 33,33% de la población total, los genotipos que conforman este grupo se caracterizan por tener bayas verdes con áreas pigmentadas en un 62,5%, un 56,36% de las plantas tienen color secundario de brote blanco, otro 56,25 % de los genotipos poseen color predominante de brote morado.

El tercer grupo está conformado por siete genotipos, y representan el 6,68 % del total; de los cuales el 100% tienen medula de color secundario amarillo distribuido a manera de anillo vascular angosto. El cuarto grupo, conformado por siete genotipos representando el 6,68 % de la población total, en donde el 93,33 % de las plantas poseen cáliz color verde con pocas manchas, la mayoría de plantas tienen flores blancas y bayas ovoides.

Por último, el quinto grupo está conformado

por 11 genotipos y representan el 10,78% del total de individuos, donde el 100 % de las plantas poseen tubérculos con coloraciones rojo-moradas distribuidas en las yemas el 57,14 % pedicelos completamente pigmentados.

Espinal et al (2006), afirman que las variables cualitativas dentro de la caracterización morfológica de las especies, contribuyen en los programas de mejoramiento genético desde el punto de vista de diferenciación taxonómica entre genotipos relacionados. Al respecto en algunas variables evaluadas y representativas de los grupos descritos en el presente trabajo, tales como color del cáliz, color detalle, color de brotes, forma y color de baya se consideran importantes para este fin.

Los mismos autores mencionan sin embargo que la forma de baya al contribuir en la diferenciación de plantas de papa de algunas especies comunes del mismo género podría ser útil al momento de seleccionar parentales. En

los grupos cuatro y cinco esta variable cobro importancia al ser representativa en cada uno de ellos, demostrando por lo tanto que en los clones que se agruparon en estos grupos pueden ser identificados parentales masculinos o femeninos.

**Análisis de componentes principales**

**(ACP).** Los descriptores cuantitativos con coeficiente de variación superiores al 25% que fueron seleccionados para llevar a cabo el ACP fueron: Número inter-hojuelas entre folíolos laterales (NIEFLH) y Rendimiento (R).

El análisis de los descriptores cuantitativos seleccionados por su alta variabilidad permitió establecer con base en el porcentaje acumulado de los valores propios (Tabla 8) un factor, el cual explica el 61,02% de la variabilidad total de los genotipos caracterizados y está conformado por las variables rendimiento y número de inter-hojuelas, siendo estos descriptores los que más varían dentro del estudio realizado.

La alta variabilidad genética presente en los parentales de los clones evaluados puede ser la responsable de este comportamiento. Se debe resaltar que las condiciones climáticas y edáficas del suelo pudieron haber influido en el rendimiento de los genotipos, ratificando de esta manera la importancia de la evaluación de este tipo de materiales bajo diferentes condiciones ambientales que permitan el estudio de su adaptabilidad y estabilidad. Chargoy (2004) afirma que los incrementos en la productividad

de los cultivos se logran explicar estableciendo primero la identidad y el peso de aquellas variables que más aportan al rendimiento para incluirlas como descriptores a tener en cuenta en los programas de mejoramiento genético de los cultivares.

**Análisis de clasificación**

El análisis de clasificación basado en los descriptores cuantitativos para los 102 genotipos, permitió agrupar la colección en cuatro grandes grupos (Figura 2), a una distancia Euclidiana de nueve, los genotipos que conforman cada grupo se observan en la tabla 9.

El grupo uno estuvo conformado por 26 genotipos, los cuales representaron el 25,49% de la colección. Este grupo se caracterizó por individuos que presentaron un promedio de rendimiento de 2,46 kg/surco y un promedio de inter-hojuelas entre folíolos laterales de 0,23. Esta situación permite definir a este grupo como de características agronómicas medianamente apropiadas desde el punto de vista de su producción y calidad. Principalmente por tratarse de plantas con producción de tubérculos medianos entre 45 y 64 mm de diámetro. Sin embargo, estos genotipos pueden presentar características de interés para el mejoramiento y obtención de cultivares más productivos y de mayor calidad puesto que su comportamiento fue similar al del genotipo galeras liberado como variedad

**Tabla 8.** Valores propios y porcentajes de varianza acumulada para los dos primeros ejes

N°	Valor propio	Porcentaje	Porcentaje acumulado
	1,1673	61,02	61,02
2	0,8327	38,98	100

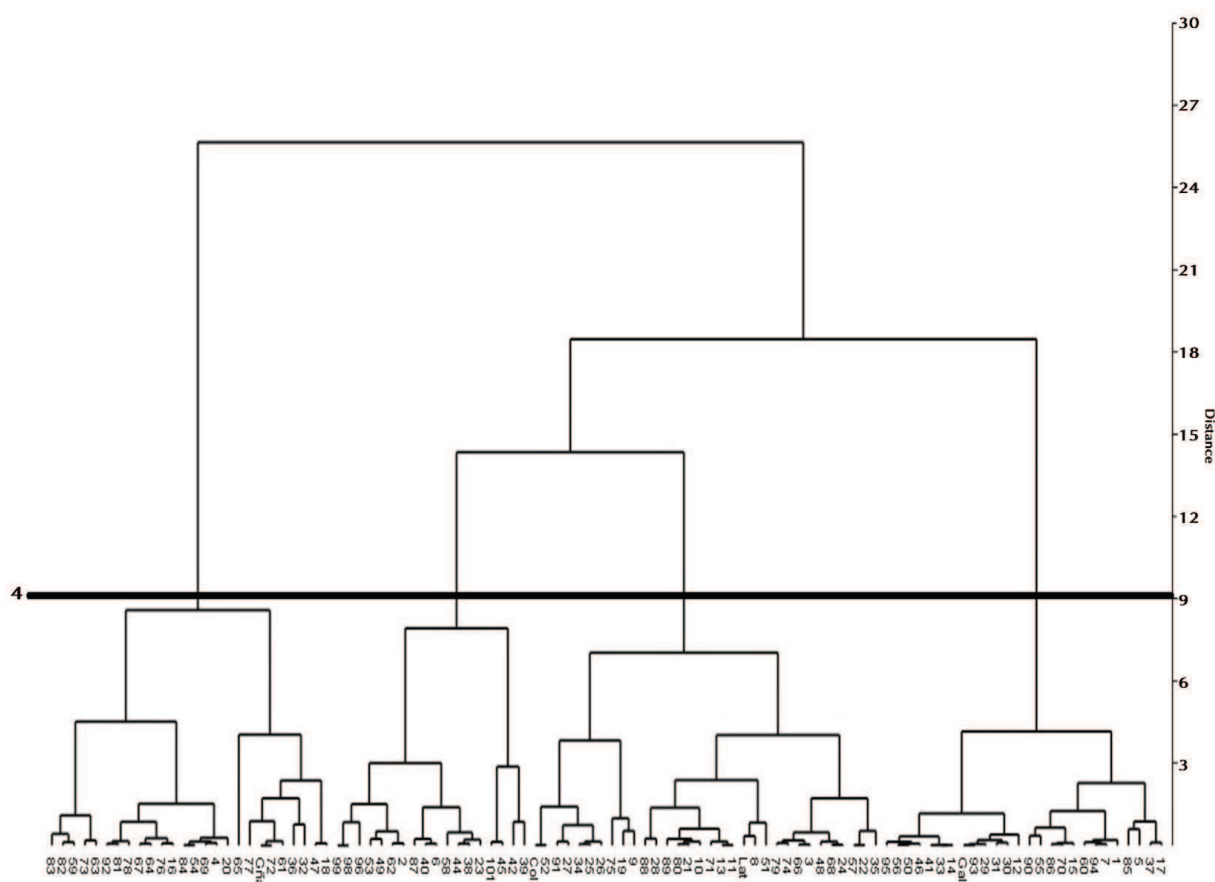


Figura 2. Dendrograma para ACP de los 102 genotipos de papa *S. tuberosum* Grupo Andigenum.

Tabla 9. Identificación de los genotipos que conforman cada uno de los cinco grupos en que se dividió la colección, con base en las variables cualitativas.

Grupo	No. de individuos	Porcentaje (%)	Genotipos
1	26	25,49	17 37 5 85 1 7 94 60 15 70 86 55 90 12 30 31 29 93 Gal 14 33 41 46 50 56 95
2	26	25,49	18 47 32 36 61 72 Gña 77 65 20 4 69 54 84 16 76 64 67 78 81 92 63 73 59 82 83
3	32	31,37	35 22 57 24 68 48 3 66 74 79 51 8 Lat 11 13 71 10 21 80 89 28 88 9 19 75 26 25 34 27 91 52 Col
4	18	17,64	39 42 45 102 23 38 44 58 6 40 87 2 62 49 53 96 98 99
<b>Total</b>	<b>102</b>	<b>100%</b>	

mejorada para la zona en evaluación.

El grupo dos se conformó por 26 genotipos, que representan el 25,49% de los genotipos evaluados. Este grupo presentó un promedio en el rendimiento de 5,87 kg/surco permitiendo

definir a este grupo como el de características agronómicas más apropiadas, gracias a que la mayoría de genotipos que conformaron el grupo produjeron tubérculos grandes con diámetros entre 65 - 90 mm. Cabe resaltar

que el testigo variedad guaneña pertenece a este grupo y que por ende podemos afirmar que los clones que se agruparon aquí puede resultar potenciales para uso agroindustrial principalmente para su consumo en hojuelas y frituras tal como se recomienda para el testigo mencionado (Rodríguez et al. 2009).

El grupo tres estuvo conformado por 32 de los genotipos caracterizados, representando el 31,37% de la colección evaluada. Las plantas pertenecientes a este grupo se caracterizaron por presentar un promedio de 3,68 kg/surco y número de inter-hojuelas entre folíolos laterales de 0,62. El cuarto grupo estuvo integrado por 18 genotipos, representando el 17,64% de la colección, en este grupo se presentaron promedios de número de inter-hojuelas entre folíolos laterales de 0,87 y rendimiento de 3,39 kg/surco, pero con tubérculos con diámetros inferiores a los 3 mm, indicando que los genotipos pertenecientes a este grupo, no crecen de buenas cualidades y/o expresiones agronómicas en esta zona por su pobre adaptación en la zona de estudio.

### **Rendimiento total de tubérculo**

El análisis de varianza para los tratamientos (clones) en evaluación, detecto diferencias significativas entre tratamientos, encontrando un valor de p menor a 0.0001.

La prueba de comparación de medias de Tukey para tratamientos encontró que las variedades Cr. Colombia, Cr. Galeras, Cr. Latina y Cr. Guaneña junto con los genotipos 65, 59, 92, 63, 18, 73, 64, 83, 51, 77, 76, 16, 36, 48, 82, 66, 4, 68, 72, 54, 32, 81, 69, 9, 78, 35, 74, 84, 19, 47, 1, 91, 31, 50, 75, 28, 36, 86, 11, 61, 12, 3, 34, 57, 46, 10, 52, 21, 22, 89,

fueron estadísticamente similares entre sí con promedios de rendimiento entre los 3,19 y 7,47 kg/surco y superiores en comparación al genotipo 96 con un promedio de rendimiento de 0,14 kg/planta, siendo este clon de comportamiento muy inferior con respecto a los demás, situación que permite concluir que se debería descartar para futuros trabajos de evaluación y selección que estén basados en la población evaluada en el presente trabajo.

### **Gravedad específica (ge)**

En el análisis de varianza para la variable GE encontró diferencias significativas entre tratamientos, con un valor de p de 0.0013.

La prueba de comparación de medias en este caso, no mostró diferencias estadísticas entre los genotipos 77, 41, 74, 96, 83, 38, 24, 76, 81, 23, 8, 78, 26, 87, 48, 89, 42, 95, 92, Cr. Guaneña, 65, 66, 27, 91, 19, 99, 63, 70, 59, 40 quienes presentaron una gravedad específica comprendida entre 1,08 y 1,11, fueron superiores a los genotipos 90, 44, 67 con un promedio para la variable de 1,06. Esto debido posiblemente a la naturaleza cuantitativa de la variable, en la cual las diferencias son muy estrechas.

En el contexto práctico, valores superiores 1,08 para GE indican buena acumulación de materia seca, factor de calidad importante para consumo fresco, pero limitante para el proceso de enlatado o agroindustrialización según sea el caso, (Rivera et al. 2006).

El valor de las colecciones de recursos fitogenéticos reside en la utilización que de ellas se haga para producir nuevos cultivares,

domesticar nuevas especies y desarrollar nuevos productos, para el beneficio de las actividades productivas (Tabaré y Berretta 2001). De esta manera y así como en el presente trabajo se debe orientar su caracterización hacia su aprovechamiento. La inclusión de testigos comerciales adaptados a las diferentes condiciones edafoclimáticas de las zonas productoras hace que se orienten ciertos genotipos experimentales hacia un determinado nicho productivo.

Se puede afirmar que todos los clones, pueden ser incluidos en programas de mejoramiento genético que busquen incluir variantes genéticas, genes o genotipos, que les permitan responder a los nuevos desafíos planteados por los sistemas productivos, considerando que no difieren significativamente en su rendimiento. Además como se muestra para la variable gravedad específica, un grupo determinado de clones que no difiere estadísticamente con el testigo criolla guaneña pueden presentar un potencial agroindustrial superior con respecto a los demás clones evaluados.

## CONCLUSIONES

En el análisis de correspondencias principales (ACM), se pudo observar que las variables relacionadas con color de tallo, color de brote y color y forma de baya, constituyen los caracteres de mayor representación en cada uno de los grupos encontrados.

De los cuatro grupos generados por el ACP, el segundo grupo presentó el mayor promedio en rendimiento (5,87 kg/surco), superando a los grupos tres y cuatro quienes mostraron los menores promedios demostrando la variabilidad en cuanto a componentes

cuantitativos se refiere.

Los genotipos: Cr. Colombia, Cr. Galeras, Cr. Latina y Cr. Guaneña y los pertenecientes a las familias (Galeras x Guaneña), (Latina x Colombia), (S. gon 703825 x Colombia), (Colombia x Latina), (Latina x UN-col 3864), (Guaneña x L.P.(P.G-08)), (UN-col 38 x Latina), (Colombia x Galeras)(Galeras x Colombia), (Guaneña x Galeras), fueron los que presentaron mayores rendimientos entre 7,47 y 3,19 kg/surco, mientras que el genotipo 96 presentó el menor rendimiento de toda la colección, siendo este de 0,14 g.

## REFERENCIAS

- Aramendiz, H., Robles, J., Cardona, C., Llano, J. y Arzuaga, E. 2006.** Caracterización morfológica de la berenjena (*Solanum melongena*. L.). Temas Agrarios. 11(1):5 - 14.
- Becerra, L., Navia S. y Ñustez, C. 2007.** Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar "Criolla Guaneña" en el departamento de Nariño. Revista de la Asociación Latinoamericana de la Papa. 14(1):51 - 60.
- Bernal, A., Arias, J., Moreno, J., Valbuena I. y Rodríguez, L. 2006.** Detección de posibles duplicados en la Colección Central Colombiana de papa *Solanum tuberosum* subespecie andigena a partir de caracteres morfológicos. Agronomía Colombiana. 24(2):226 - 237.
- Brown, C. R., Wrolstad, R., Durst, R., Yang, C. P., and Clevidence, B. 2003.** Breeding studies in potatoes containing high concentrations of anthocyanins. American

Journal of potato research 80:241-250.

RAPDs and nuclear SSRs. Theoretical and Applied Genetics. 113:1515 - 1527.

**Bukasov, S. 1971.** Especies de papa cultivada. pp 5-40. Es: Bukasov, S. M. (ed.). Flora de las plantas cultivadas. Kolos, Leningrado, Rusia. Vol. 9.

**Hartmann, A., Senning, M., Hedden, P., Sonnewald U. and Sonnewald, S. 2011.** Reactivation of meristem activity and sprout growth in potato tubers require both cytokinin and gibberellin. Plant Physiology. 155:776-796.

**Centro Internacional De La Papa (CIP). 2000.** Guía para las Caracterizaciones Morfológicas Básicas en Colecciones de Papas Nativas. Centro Internacional de la papa (CIP), Lima, Perú. 27 p.

**Hawkes, J. 1990.** The potato: evolution, biodiversity and genetic resources. Belhaven Press. Washington DC. 259 p.

**Chargoy, C. 2004.** La medición agronómica de la eficiencia en el rendimiento de los cultivos múltiples. En: Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. 110-117 p.

**Hidalgo, R. 2003.** Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. En: Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos filogenéticos. Franco, T. Hidalgo, R. (eds). Boletín técnico IPGRI N° 8. Cali, Colombia. 2 - 26 p.

**Dodds, K. 1962.** Clasificación de las papas cultivadas. pp 517-539. Es: Correll, D. S. (ed.). La papa y sus parientes silvestres. Serie de Estudios Botánicos 4. Fundación de Investigación de Texas, Renner, Texas. 517 - 539 p.

**Huamán, Z. and Spooner, D. 2002.** Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *Petota*). American Journal of Botanic. 89:947-965.

**Espinal, C., Martínez, H., Pinzón N. y Barrios, C. 2006.** La cadena de la papa en Colombia. En: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural Observatorio Agrocadenas Colombia. En: [http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_agronet/2005112163731\\_caracterizacion\\_papa.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2005112163731_caracterizacion_papa.pdf), consulta: enero, 2011.

**Instituto Colombiano De Normas Técnicas (ICONTEC). 1971.** Norma Técnica Colombiana (NTC-341).

**Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2009.** Datos meteorológicos. Estación meteorológica de Obonuco. Pasto.

**Ghislain, M., Andrade, D., Rodríguez, F., Hijmans R. and Spooner, D. 2006.** Genetic analysis of the cultivated potato *Solanum tuberosum* L. Phureja Group using

**Lechnovich, V. 1971.** Especies de papa cultivada. pp 41-304. Es: Bukasov, S. M. (ed.). Flora de las plantas cultivadas. Kolos, Leningrado, Rusia. Vol. 9.



- Ligarreto, G., Valbuena, I. y Fajardo, D. 1997.** Caracterización morfológica de la colección central colombiana de papa. En: Memorias V Congreso Sociedad Colombiana de Fitomejoramiento y producción de cultivos. 152 p.
- Ministerio De Agricultura y Desarrollo RURAL. 2010.** Sistema de información de gestión y desempeño de organizaciones de cadenas. Cadena de la papa. Estadísticas, área y producción. En: <http://www.sioc.gov.co/AREAPRODUCCION/AreaProduccion17.pdf>. Consulta: marzo, 2011.
- Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural. 2011.** Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia. En: <http://www.sioc.gov.co/documentosP.aspx>. Consulta: marzo, 2011.
- Moreno, J. y Valbuena, I. (2006).** Colección colombiana de papa: riqueza de variabilidad genética para el mejoramiento del cultivo. Revista Innovación & cambio tecnológico, Corpoica. Bogotá. 4(4):16 - 24 p.
- Navarro, C., Bolaños, L. y Lagos, T. 2010.** Caracterización morfoagronómica y molecular de 19 genotipos de papa guata y chaucha (*Solanum tuberosum* L. y *Solanum phurejajuz* et Buk) cultivados en el departamento de Nariño., Revista de Agronomía. 1:27 - 39 p.
- Ochoa, C. 1999.** Las papas de Sudamérica: Perú (Parte 1) International Potato Center, Lima, Perú.
- Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura (FAO). 2011.** FAOSTAT. El mundo de la papa. En: <http://www.potato2008.org/es/mundo>; consulta: marzo, 2011.
- Ovchinnikova, A., Krylova, E., Gavrilenko, T., Smekalova, T., Zhuk, M., Knapp, S. and Spooner, D. 2011.** Taxonomy of cultivated potatoes (*Solanum* section Petota: Solanaceae). Botanical Journal of the Linnean Society. 165:107 - 155 p.
- Peña, L. 2000.** Fisiología y manejo de tubérculos – semilla de papa. CORPOICA, Cl. Obonuco. Boletín divulgativo. 9p.
- Pérez, L., Rodríguez, L. and 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.
- Rivera, J., Herrera, A. y Rodríguez, L. 2006.** Evaluación sensorial en productos procesados de papa criolla (*Solanum phureja*) y su importancia para el fitomejoramiento. Fitotecnia Colombiana. 6(2):9-25.
- Rodríguez, L., Ñustez, C. y 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. 2009.** Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas

(*Solanum* L. sect. *Petota* Dumort.). Una revisión. *Agronomía Colombiana*. 27(3):305 - 3012.

**Rodríguez, F., Ghislain, M., Clausen, A., Jansky, S. and Spooner, D. 2010.** Hybridorigins of cultivated potatoes. *Theoretical and Applied Genetics* 121:1187-1198.

**Spooner, D. and Hetterscheid, W. 2005.** Origins, evolution, and group classification of cultivated potatoes. En: Motley, T.J., N. Zerega y H. Cross (eds.). *Darwin's harvest: new approaches to the origins, evolution and conservation of crops*. Columbia University Press, New York. 285-307 p.

**Spooner, D., Núñez, J., Trujillo, G., Herrera, M., Guzmán, F. and Ghislain, M. 2007.** Extensive simple sequence repeat genotyping of potato landraces supports a major reevaluation of their gene pool structure and classification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104:19398-19403.

**Tabaré, A., y Berretta, A. 2001.** Conservación de recursos genéticos ex situ. En: *Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur*". PROCISUR. 12 p.

**Talburt, W. and Smith, O. 1975.** *The potato of processing*. The AVI Publishing, Inc. Westport, Connecticut. 705 p.

**The Potato Genome Sequencing Consortium. 2011.** Genome sequence and analysis of the tuber crop potato. *Nature*. 475:189 - 195.

**Vásquez, B., Arias, J., Moreno, J., Valbuena, I. y Rodríguez, L. 2006.** Detección de posibles duplicados dentro de la colección central Colombiana de papa *Solanum tuberosum* subespecie Andígena a partir de caracteres morfológicos.; *Agronomía Colombiana*, 2: 226 - 237.