

EVALUACION DEL POTENCIAL DE LOS RECURSOS GENETICOS DE PAPA CRIOLLA (*Solanum phureja*) POR CALIDAD INDUSTRIAL

Evaluation of the potential of genetics resources of Creole potato (*Solanum phureja*) for industrial quality

Gustavo A. Ligarreto M.¹ y Martha N. Suárez C.²

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar 50 accesiones de papa criolla especie *Solanum phureja* Juz et Buk por parámetros que requiere la industria de procesados, en esta colección se ha reportado la existencia de variabilidad genética pero se desconoce su calidad para la industria. Se evaluaron 17 variables: 10 variables cualitativas y 7 variables cuantitativas. Las variables cualitativas permitieron evaluar morfológicamente el tubérculo y las cuantitativas determinaron el comportamiento agronómico de los cultivares en el ambiente. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de correlación, y componentes principales y análisis de conglomerados. Se encontró que los tres primeros componentes principales expresaron el 85% de la variabilidad total, donde las características más importantes fueron: diámetro ecuatorial 1, diámetro ecuatorial 2, diámetro longitudinal, gravedad específica y contenido de azúcares reductores. El análisis de conglomerados mostró cuatro grupos con subgrupos donde los subgrupos 2a y 3d presentaron las accesiones con mejores características industriales. Los genotipos que presentaron mejores características para el procesamiento industrial y que ameritan su evaluación en otros ambientes fueron: encurtido en salmuera o vinagre. 16, 20, 21, 68, 79, 80 y 81; papa precocida enlatada o congelada. 16, 20 y 21 y papa frita en hojuela el cultivar 23. El trabajo se realizó en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Regional Uno, Centro de Investigación Tibaitatá en Mosquera.

Palabras claves: Recursos genéticos, variabilidad, papa criolla y *Solanum phureja*.

SUMMARY

The objective of this research was to evaluate the industrial characteristics of 50 accessions of Creole potato (*Solanum phureja* Juz et Buk). Seventeen variables were included: 10 qualitative and 7 quantitative variables. The qualitative variable defined the tuber morphology and the quantitative ones determined the agronomic behavior of cultivars. The obtained data were subjected to correlation analysis, and the main components to cluster analysis. It was found that the first three main components expressed 85% of the

total variability, where the characteristics more important are represented by the equatorial diameter 1, equatorial diameter 2, longitudinal diameter, specific gravity and the content of reducing sugars. The cluster analysis showed four groups with subgroups where subgroups 2a and 3d showed the accessions with best industrial characteristics. The genotypes selected for industrial processing were: pickle in brine or vinegar. 16, 20, 21, 68, 79, 80 and 81; canned precooked or frozen potato. 16, 20 and 21. The present research was carried out in the Colombian Corporation of Agricultural Research, Corpoica, Regional One, Tibaitatá Research Center in Mosquera.

Key words: Genetics resources, variability, Creole potato and *Solanum phureja*.

INTRODUCCION

La papa es una especie de reconocida importancia en el mundo. Ocupa el cuarto lugar como producto alimenticio agrícola después del arroz, el trigo y el maíz. En Colombia es importante como alimento básico de la población y ocupa un área sembrada de 170.000 hectáreas por año (Herrera, 2000).

Colombia es el primer productor de papa criolla (*S. phureja*) en Latinoamérica con un buen mercado interno en los departamentos de Antioquia, Valle del Cauca, Boyacá, Nariño y Cundinamarca. En la actualidad la industria de procesamiento del tubérculo está en crecimiento en las presentaciones de papas fritas y conservas y se ha comenzado a suplir con este producto los mercados europeos, con presentaciones en frito, enlatados y en vidrio (Bonilla, 1997). Las principales fortalezas de la papa criolla son: el alto valor nutricional, el buen sabor, el ciclo de vida corto, inferiores costos de producción y un alto potencial de exportación como producto exótico procesado. Los problemas del producto tienen que ver con el alto grado de mezcla de tubérculos de las variedades nativas y la heterogeneidad en tamaño del mismo y la alta perecibilidad, entre otros (Cardona, 2000).

Mediante la industrialización de productos de las papas nativas se ha reportado que una buena calidad

- Fecha de recepción 13 de septiembre de 2002
- Aceptado para publicación 25 de marzo de 2003

¹ Profesor Asociado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá E.-Mail: galigarretom@unal.edu.co.

² Investigadora. Programa Nacional de Recursos Genéticos y Biotecnología Vegetal. Corpoica, C.I. Tibaitatá.

en fresco, puede presentar características desfavorables para el procesamiento: como alto contenido de azúcares, ojos medianos a profundos y piel oscura, que en concepto de los procesadores son limitantes que enfrenta la industria y que se traducen en la ausencia de variedades que reúnan los requisitos específicos que esta requiere (Pineda, 1996).

La utilización de productos procesados está en aumento debido al cambios de hábitos de consumo, influenciados por varios factores, entre estos: la concentración de la población en las grandes ciudades, la dedicación de menos tiempo a las labores del hogar, el elevado costo de la energía para la preparación de alimentos.

La gravedad específica esta influenciada principalmente por la temperatura y humedad del ambiente cuando se realiza la evaluación, la madurez del tubérculo, los factores climáticos, edafológicos y agronómicos. Hernández (1989) citando a Shaw y Booth declara que el método de la gravedad específica sirve para estimar el contenido de materia seca y el contenido de almidón, basándose en la existencia de tablas de conversión diseñadas por Hougland (1966) y Burton (1948) para papa.

Los altos valores de gravedad específica de estos materiales evitarían que absorban demasiado aceite durante la fritura del producto entero y un contenido de materia seca superior al 20% sirve para mantener un buen rendimiento (Talbert *et al.*, 1959).

El contenido de materia seca determina el rendimiento industrial de las chips o papa en hojuela. Mientras más rico en almidón sea el tubérculo menos agua contiene y, por consiguiente, el rendimiento industrial es mayor (4 - 5 kg. de papa por 1 kg. de chips). Las pérdidas durante el pelado son mayores en tubérculos de calibre pequeño que con las grandes, además, las hojuelas de dimensiones muy grandes se rompen en las bolsas. Por esta razón , los tubérculos deben tener dimensiones entre 4 - 6 cm ; con calibre homogéneo. (Guerra, 1989; Herrera, 2000).

La reacción de Maillard entre los azúcares reductores y aminoácidos juega un papel importante en el proceso de coloración oscura producido y la disminución del valor nutricional. Las investigaciones han demostrado que 2.5 - 3 mg de azúcares reductores por gramo de peso fresco debe ser considerado como el máximo nivel permisible para hojuelas, para tiras el límite es cerca de 5 mg por gramo de peso fresco. (Harris, 1992)

La papa fresca recién cosechada contiene poco azúcar. Los azúcares reductores y totales varían de una variedad a otra, esto es, en unas alcanza valores superiores a otras, aunque hayan crecido y fueran cosechadas de la misma manera, difiriendo en su habilidad para convertir el almidón después de su almacenamiento. (Guerra, 1989).

Algunas veces el contenido alto de azúcares reductores puede ser encontrado inmediatamente después de la cosecha y en el periodo de curado. En muchos casos

sin embargo se desarrolla durante el periodo de almacenamiento. Los factores que más afectan el contenido de azúcares reductores son: La temperatura proporcionada antes de procesar, la variedad, la composición del suelo, la fertilización, el ambiente y el suministro de agua. (Harris, 1992).

Los tubérculos destinados a la fabricación de papa precocida enlatada o congelada deben ser de bajo calibre (clase 2 y 3) y tener buena consistencia durante la cocción (ausencia de ruptura en el momento del escaldado), su gravedad específica (GE) superior a 1.080, piel blanca o crema, libre de daños y enfermedades, y textura firme. (Guerra, 1989) Además, se necesita que estos tubérculos no sean susceptibles al oscurecimiento después de cocinar, según Harris (1992) lo que se debe a los contenidos de ácido clorogénico y ácido cítrico presentes en la papa. Este tipo de producto puede ser utilizado en microondas, fritura o cocción completa (Jaimes *et al.*, 1996, Gómez y Ramírez, 1999) y empacados al vacío en bolsas plásticas.

El producto para papa frita en hojuela necesita tubérculos regulares de forma redonda o comprimida, de diámetro superior a 4 cm, piel clara, libre de daños internos y verdeamientos. La gravedad específica debe ser mayor a 1.080.

Moreno (2000) y Estrada (2000) señalan que los componentes más significativos para la industria de procesamiento son el porcentaje de materia seca y bajo contenido de azúcares reductores. Otras de las características para uso industrial son la ausencia de pigmentos de antocianinas y ojos superficiales del tubérculo.

Estudios hechos con anterioridad en esta especie de papa se evidenció la existencia de alta variabilidad genética destacándose las características morfológicas: forma general del tubérculo, formas raras del tubérculo, color primario de piel del tubérculo y color secundario de piel del tubérculo como variables importantes (Bonilla, 1997).

La Colección Central Colombiana de papa criolla (*Solanum phureja*), posee un valioso recurso genético que hasta ahora solo ha sido caracterizado a nivel morfológico. El objetivo de este estudio fue evaluar 50 accesiones de papa criolla por su comportamiento en el procesamiento de la industria para alimentos.

MATERIALES Y METODOS

Este estudio se realizó en el año 2001 en la Corporación Colombiana de Investigación agropecuaria, Corpoica Centro de Investigación Tibaitatá Regional Uno. En el Cuadro 1, se presenta la procedencia de los 50 cultivos de papa *Solanum phureja* de la Colección Central Colombiana (CCC).

Para evaluar las características industriales del tubérculo se tuvieron en cuenta las variables cuantitativas: peso fresco, diámetro longitudinal, diámetro ecuatorial 1,

Cuadro 1. Accesiones de *Solanum phureja* Juz et. Buk. del banco de germoplasma Colombiano. Corpoica - Tibaitata

LINEA - NOMBRE	PROCEDENC.	LINEA - NOMBRE	PROCEDECIA
1. Uva	Nariño	32. Algodona	Nariño
2. Chaucha blanca	Nariño	36. S.N. FDR.3	CIP . Lima
3. Borrega amarilla	Nariño	37. S.N.FDR.34	CIP . Lima
4. Chaucha colorada	Nariño	38. S.N.1	Sin dato
5. Mambera	Nariño	40. Soliman	Sin dato
6. Chaucha ratona	Nariño	42. Criolla rosada	Boyacá
7. Borrega blanca	Nariño	45. Chaucha	Nariño
8. Chaucha mambera	Nariño	47. Chaucha carilla	Nariño
10. Borrega amarilla	Nariño	49. Chaucha negra	Nariño
11. Mambera	Nariño	52. S.N.	Sin dato
12. Borrega amarilla	Nariño	53. S.N.	U.V.EEUU.
13. Chaucha ratona	Nariño	54. S.N.	Nariño
14. Borrega blanca	Nariño	63. Pepina amarilla	Santander
16. Yema de huevo	Nariño	65. Chaucha ratona	Nariño
17. Ratona	Nariño	66 Chaucha	Nariño
20. yema de huevo	Nariño	68 Careta	Cauca
21. Algodona	Nariño	70. S.N.	Cauca
22. Borrega	Nariño	73. Criolla	Boyacá
23. Naranjilla	Nariño	74. S.N.	Boyacá
24. Ratona roja	Nariño	75. Criolla negra	Valle
25. Borrega blanca	Nariño	78. Chaucha negra	Cauca
26. Uva	Nariño	79. Chaucha ojona	Cauca
27. Ratona chinqueña	Nariño	80. S.N.	Cauca
28. Chaucha botella amarilla	Nariño	81. Chaucha colorada redonda	Valle
31. Chaucha morada	Nariño	87. Turma de perro	Quindío

Fuente : Corpoica, 1994.

diámetro ecuatorial 2, gravedad específica, materia seca y contenidos de azúcares reductores, las variables cualitativas: Forma general del tubérculo, forma rara, profundidad de ojos, color primario de piel, intensidad del color primario de piel, color secundario de piel, distribución del color secundario de piel, color primario de carne, color secundario de carne, distribución del color secundario de carne fueron evaluadas según los descriptores del Centro Internacional de la Papa, CIP (Huaman, 1994).

Las variables en el orden de evaluación fueron: 1. *Peso del tubérculo*: se realizó la medición a cinco tubérculos limpios representativos de cada genotipo, 2. *Diámetro longitudinal*: la medida fue tomada teniendo en cuenta el eje del tubérculo que parte del lugar donde estaba sujeto a la planta, 3. *Diámetro ecuatorial I*: se tomó la medida del eje transversal menor del tubérculo, 4. *Diámetro ecuatorial II*: se realizó la medida tomando el eje transversal mayor del tubérculo, 5. *Forma general del tubérculo*, 6. *Forma rara del tubérculo*, por ser las variables 5 y 6 de tipo cualitativas se evaluó cada genotipo tomando

un grupo de tubérculos representativos, 7. *Profundidad de ojos*: se evaluó comparando un grupo de tubérculos representativos de cada genotipo con los descriptores del CIP, 8. *Color primario de piel*, 9. *Intensidad del color primario de piel*, 10. *Color secundario de piel*, 11. *Distribución del color secundario de piel*, 12. *Color primario de carne*, 13. *Color secundario de carne*, 14. *Distribución del color secundario de carne*, (Huamán, 1994), (Cuadro 2), 15. *Gravedad específica*: la medición se realizó siete días después de la cosecha mediante la relación peso en aire dividido por la diferencia de peso en aire con peso en agua, 16. *Materia seca*: se tomó la lectura de su peso en fresco y peso seco en estufa a 65 °C hasta alcanzar un peso constante (a las 72 horas), 17. *Azúcares Reductores*: se peso un gramo de muestra previamente secada y molida a la cual se le aplicó el método cuantitativo para la extracción de azúcares reductores de Nelson – Somogy, (Gutiérrez, 1994).

Adicionalmente a la descripción por las 17 variables ya mencionadas las accesiones se clasificaron por grupos que

Cuadro 2. Rango de las variables cualitativas evaluadas a 50 accesiones de *Solanum phureja* Juz et. Buk.

VARIABLE	ESCALA
Forma general del tubérculo	1. Comprimido - 8. Alargado
Forma rara del tubérculo	1. Aplanado - 9. Tuberosado
Profundidad de ojos	1. Sobresaliente - 9. Muy profundo
Color primario de piel	1. Blanco - crema - 9. Negruzco
Intensidad del color primario de piel	0. Ausente - 3. Oscuro
Color secundario de piel	0. Ausente - 9. Negruzco
Distribución del color secundario de piel	1. En los ojos - 7. Pocos puntos
Color primario de carne	1. Blanco - 8. Violeta
Color secundario de carne	0. Ausente - 9. rosado
Distribución del color secundario de carne	0. Ausente - 7. Salpicado

Fuente : Huamán, 1994.

cumplieron con los requerimientos industriales para ser utilizados en el procesamiento de papa entera precocida para productos enlatados y congelados, encurtido fresco y fermentado y papa frita en hojuelas (IICA, 1999), (Cuadro 3).

El análisis estadístico se realizó mediante estadísticas descriptivas como la estimación de correlaciones, promedios y desviaciones estándar y estadísticas multivariadas de componentes principales que permite transformar un

Cuadro 3. Variables y parámetros utilizados por la industria para la selección de las variedades de papa criolla.

Variables	ENCURTIDOS		PRE - COCIDO		FRITOS	
	SALMUERA	VINAGRE	ENLATADO	CONGELADO	HOJUELA	TIRAS
<i>Forma y tamaño (la longitud se mide por la parte ancha)</i>	2.5 cm. redondo y/o comprimido	2.5 cm. redondo y/o comprimido	2.5 cm. redondo y/o comprimido	2.5 cm. redondo y/o comprimido	Papa pareja 4.0 - 6.5 cm. primera (semi - cero) 6.5 - 8 cm	5 cm o mas
<i>Profundidad de ojos</i>	Sobresalientes y/o superficiales					
<i>Características de rechazo</i>	<p>Descripción: Suma de defectos</p> <p>Plagas: Tecia, chiza, tiroteador, gusano blanco, babosa trozador Máximo 8%</p> <p>Daños / microorganismos: Alteraciones por bacterias, hongos, etc. Máximo 3%</p> <p>Daño físico: Papa asoleada, magullada, cortada, pardeada, papa hueca. 10% máximo mínimo 3%</p>				<p>Descripción: Internos y Externos Se clasifican según porcentaje en peso en: leve, intermedio y crítico.</p> <p>Daños internos: Pulpa de color diferente o papa hueca.</p> <p>Daños externos: Causados por: microorganismos, plagas asoleada, tallada, magullada.</p> <p>No se aceptan con mas del 3% tiroteador, centro café o negro, mezcla de variedades.</p>	
<i>Color</i>	Color de piel: Amarillo intenso				Equivale en escala internacional a 2.7 como máximo	Mínimo 5 en escala de colores Máximo 3 en escala internacional
<i>Materia seca</i>					18% mínimo	
<i>Porcentaje de quemado</i>					15% en línea como máximo	
					18% mínimo	
					30% máximo	

Fuente: IICA, 1999

conjunto de variables a un nuevo grupo de variables no correlacionadas y agrupamientos con representación en un dendograma a partir de las salidas de los componentes principales y de la matriz de distancias euclidianas estandarizada entre las accesiones, el dendograma se construyó mediante el ligamiento promedio (UPGMA) (Pla, 1986). En el procesamiento de los datos se utilizaron los sistemas SAS versión 6.10 y NTSYS versión 2.0 (SAS, 1996, Rohlf, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSION

Descripción varietal

El tamaño de los tubérculos de la muestra estudiada de la Colección Central Colombiana se encuentra en su mayoría en las clases 2 (20 a 35 g) y 3 (menor de 25 g), ya que los valores máximos y mínimos de las variables peso fresco, diámetro longitudinal, diámetro

ecuatorial uno y diámetro ecuatorial dos se encuentran dentro de un rango reducido para la mayor parte de los genotipos. Según el ICA (1997) las clases cero y uno presentan peso de tubérculo mayor a 50 g y entre 36 y 50 g, respectivamente.

En el Cuadro 4, se observa que el 68% de los cultivares tienen forma general (FG) del tubérculo y el 32% restante presenta formas raras (FR), los primeros se caracterizan por presentar tubérculos redondos un 28%, comprimidos 22%, es decir que un 50% tiene la forma de tubérculo requerida por la industria, mientras, que de los tubérculos con formas raras, un 20% es de forma concertinada. El 98% de la muestra posee una profundidad de ojos aceptable para procesar (superficial o medio), que favorecen las operaciones de limpieza y pelado durante el procesamiento. El 46 % de la población estudiada ofrece la posibilidad de enriquecer el mercado con variedades de papa criolla con un color secundario de piel, diversificando la presentación de los productos con papa entera.

Cuadro 4. Estadística descriptiva para las variables cualitativas evaluadas a la muestra de *Solanum phureja*.

Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Moda	Detalle
v5 Forma general (FG)	1	7	2	Redondo 28%, comprimido 22%, obovado 10%, elíptico 4%, oblongo 4%
v6 Forma rara (FR)	3	8	8	Concertinado 20%, fusiforme 8%, falcado 2%, reniforme 2%
v7 Profundidad de ojos (PO)	1	7	3	Superficiales 54%, medio 38%, sobresalientes 6%, profundo 2%
v8 Color principal piel (CPP)	1	8	2	Amarillo 50%, rojo 22%, morado 12%, rosado 6%, blanco crema 4%
v9 Intensidad color principal piel (ICPP)	1	3	2	Intermedio 50%, oscuro 32%, pálido 18%.
v10 Color secundario piel (CSP)	0	8	0	Ausente 54% amarillo 20%, morado 16%, rojo 6%, rosado 4%
v11 Distribución color secundario piel (DCSP)	0	6	0	Ausente 54% manchas salpicadas 18%, como anteojos 10%, manchas dispersas 8%, en los ojos 6%, alrededor de los ojos 2%, en las cejas 2%
v12 Color principal carne (CPC)	1	5	1	Crema 30%, blanco 30%, amarillo 40%
v13 Color secundario carne (CSC)	0	7	3	Amarillo 50%, crema 22%, ausente 14%, morado 14%, blanco 4%, rojo 2%
v14 Distribución color secundario carne (DCSC)	0	5	1	Pocas manchas 56%, anillo vascular y medula 16%, ausente 14%, anillo vascular amplio 8%, áreas 6%

El 50% de los genotipos presentan tubérculos de piel color amarillo, el 22% tiene piel roja, el 12% piel morada, el 6% rosada y un 6% rojo - morada; con una intensidad en el color principal de piel (ICPP): intermedia del 50% y oscura el 32% de las accesiones estudiadas. El color secundario de piel (CSP) se descartó en el 54% de los casos, pero se presentó el 20% combinado con amarillo y un 16% combinado con morado; la distribución del color secundario de piel (DCSP) en los

tubérculos se encontró como manchas salpicadas, como anteojos, manchas dispersas y en las cejas.

Los promedios y valores máximos de las siete variables cuantitativas mostradas en el Cuadro 5, señalan que existe un alto grado de variación en los 50 genotipos de papa criolla estudiados, ya que la característica más variable es el contenido de azúcares reductores con una desviación estándar de 17.22, otra caracterís-

Cuadro 5. Estadística descriptiva de las variables cuantitativas evaluadas a la muestra de *Solanum phureja*.

Variable	Valor mínimo	Valor máximo	Promedio	Desviación estándar
v1 Peso fresco (PF) g	7.6	44.49	24.04	9.97
v2 Diámetro longitudinal (DL) cm	2.01	10.98	2.9	1.74
v3 Diámetro ecuatorial 1 (DE 1) cm	1.53	4.07	2.92	0.58
v4 Diámetro ecuatorial 2 (DE2) cm	1.7	4.27	3.24	0.62
v15 Materia seca (MS) %	16.12	27.46	20.84	2.06
v16 Azúcares reductores (AR)	0.27	62.59	22.2	17.22
v17 Gravedad específica (GE)	1.05020	1.1047	1.077	0.0118

tica con una variación importante fue el peso fresco con 9.97. En contraste y la característica más estable fue la gravedad específica con un valor de desviación estándar de 0.0118.

Selección de genotipos para uso industrial

En el Cuadro 6, se presentan los genotipos seleccionados para la fabricación de encurtidos envasados, los cuales sobresalen por su color de piel: en un solo tono oscuro o combinado (rojo, rosado). El 57% de las accesiones posee color de piel distinto al amarillo o combinado con amarillo. El 43% restante son de color amarillo, que es la presentación tradicional de esta especie en el mercado. Con respecto al contenido de materia seca todos los genotipos sobresalientes para este tipo de presentación como producto procesado tienen materia seca

superior al 20%, lo cual asegura un mayor rendimiento durante el procesamiento.

En referencia a las accesiones destinadas a la fabricación de papa precocida, enlatada o congelada que puede ser utilizada en microondas, fritura o cocción completa, las colectas seleccionadas aparecen relacionadas en el Cuadro 7 y son de forma comprimida, redonda y de tamaño clase 3, estos tubérculos tienen una masa firme, menos harinosa y se abren menos que los tubérculos de mayor calibre. Además, presentan color principal de piel y pulpa amarillo. Según Porras (2000), en el momento actual este tipo de tubérculos de la especie *Solanum phureja* están siendo impulsados por Fedepapa (Federación Nacional de Productores de Papa) y Cevipapa (Centro Virtual de la Papa) para aumentar el consumo y comercialización del clon 1 seleccionado “Yema de Huevo”.

Cuadro 6. Genotipos aptos para el procesamiento de encurtidos en salmuera o vinagre.

GN	FG	PO	CPP	ICPP	CSP	DCSP*	CPC	%MS	GE
16	comprimido	superficial	amarillo	oscuro	-	-	amarillo	20.5	1.105
20	comprimido	superficial	amarillo	oscuro	-	-	amarillo	20.46	1.09
21	comprimido	media	amarillo	intermedio	-	-	crema	24.01	1.087
68	redondo	superficial	rojo	intermedio	amarillo	mch.dis.	blanco	20.54	1.081
79	redondo	media	rojo	oscuro	-	-	amarillo	22.32	1.087
80	comprimido	superficial	amarillo	pálido	rosado	mch.sal.	amarillo	24.85	1.084
81	comprimido	superficial	rojo	oscuro	-	-	crema	21.63	1.077

*: mch.sal : manchas salpicadas ; mch.dis. : manchas dispersas ; pf. Peso fresco.

Cuadro 7. Genotipos aptos para el procesamiento de productos precocidos enlatados o congelados.

GENT.	FG	PF (g)	PO	CPP	CPC	%MS	GE
16	comprimido	10.12	superficial	amarillo	amarillo	20.5	1.1047
20	comprimido	7.60	superficial	amarillo	amarillo	20.46	1.0899
21	comprimido	12.78	media	amarillo	crema	24.01	1.0869

El Cuadro 8 muestra la accesión 23, que fue seleccionada para el procesamiento de papa frita en hojuela ya que cumple con el requisito de un diámetro de 4.4 cm, bajo contenido de azúcares reductores y color amarillo en la carne del tubérculo.

Análisis de la variabilidad genética de la colección por parámetros de la industria

Las correlaciones presentadas en el Cuadro 9 muestran alta significancia entre los diámetros ecuatoriales y el peso fresco; entre la gravedad específica y la materia seca y una correlación inversa entre el contenido de azúcares reductores y la gravedad específica.

El valor del coeficiente de correlación entre el contenido de materia seca y la gravedad específica fue de 0.5401, con alta significancia para la muestra de la especie *Solanum phureja* estudiada, aunque las investigaciones de la especie *Tuberosum* hechas por Houghland (1966) revelaron un coeficiente de correlación entre la gravedad específica y la materia seca de +0.8083, siendo medidas estas dos variables en papas americanas. Así mismo Burton (1948), encontró un coeficiente de correlación entre las mismas variables de +0.937 en papas europeas. Según Houghland (1966) los tubérculos sembrados en América poseen altos contenidos de materia seca no almidonosa. Esta diferencia con los tubérculos europeos aumenta ligeramente la medida de la materia seca.

Como se encontraron correlaciones altamente significativas entre las variables estudiadas se realizó un análisis multivariado de componentes principales para conocer la relación que existe entre las mismas y como influye el conjunto de las variables en la clasificación de las accesiones (Pla, 1986).

El valor del coeficiente de correlación entre el contenido de materia seca y la gravedad específica fue de 0.5401, con alta significancia para la muestra de la especie *Solanum phureja* estudiada, aunque las investigaciones de la especie *Tuberosum* hechas por Houghland (1966) revelaron un coeficiente de correlación entre la gravedad específica y la materia seca de +0.8083, siendo medidas estas dos variables en papas americanas. Así mismo Burton (1948), encontró un coeficiente de correlación entre las mismas variables de +0.937 en papas europeas. Según Houghland (1966) los tubérculos sembrados en América poseen altos contenidos de materia seca no almidonosa. Esta diferencia con los tubérculos europeos aumenta ligeramente la medida de la materia seca.

Cuadro 8. Genotipo apto para el procesamiento de papa frita en hojuela.

GEN.	FG	PO	CPP	CSP	CPC	DL	DEC2	%MS	AR (mg/g pf)	GE
23	redonda	media	amarillo	rojo	amarillo	4.40 cm	4.21 cm	19.72	1.89	1.0815

Cuadro 9. Matriz de correlación de las variables cuantitativas evaluadas en la colección.

	PF	DL	DE1	DE2	MS	AZ	GE
PF	1.0						
DL	0.34135*	1.0					
DE1	0.7231**	-0.29615*	1.0				
DE2	0.7455**	-0.27346	0.9728**	1.0			
MS	-0.36303*	-0.21956	-0.20245	-0.24852	1.0		
AZ	0.09648	-0.02163	0.22580	0.24063	-0.26404	1.0	
GE	-0.27873*	-0.16225	-0.20053	-0.24477	0.5401**	-0.5793**	1.0

** Valor de correlación altamente significativo (0.0001).

* Valor de correlación significativo (0.05).

El Cuadro 10, presenta los siete componentes principales obtenidos al evaluar con siete variables cuantitativas las 50 accesiones de *Solanum phureja*. El principio de selección de los componentes principales se basa en tener en cuenta aquellos con valores característicos mayores a 1; es así como los 3 primeros componentes principales expresan el 85.2% de la variabilidad total de los genotipos estudiados.

Al analizar el Cuadro 11, se encuentra que el primer componente principal explica el 43.8% de la variabilidad total de la genotipos, y está compuesto por el diámetro ecuatorial 1 (DE1) y el diámetro ecuatorial 2 (DE2). Los

cuales poseen un coeficiente de correlación entre sí de +0.9728 altamente significativo. Estas variables dirigen el tamaño del tubérculo junto con el peso fresco (PF) (PF vs DE1 : +0.7231** y PF vs DE2 : +0.745***) y el diámetro longitudinal (DL) (DL vs DE 1 : -0.296). Estos diámetros definen la forma del tubérculo, donde el 66% de los genotipos son de forma general (redonda 28%, comprimida 22%, obovada 10%, elíptica 4% y oblongo un 4%) y un 34% de forma rara (concertinado 20%, fusiforme 8%, falcado 2% y reniforme 2%).

El segundo componente principal esta compuesto por el diámetro longitudinal y la gravedad específica,

Cuadro 10. Valores característicos y proporción de la varianza explicada por siete componentes principales en la evaluación de siete variables cuantitativas.

COMPONENTE	VALOR (*) CARACTERÍSTICO	DIFERENCIA	PROPORCION VARIANZA EXPLICADA	PROPORCION VARIANZA ACUMULADA
C.P.1	3.06688	1.38668	0.4381	0.4381
C.P.2	1.68020	0.46446	0.2400	0.6782
C.P.3	1.21574	0.58635	0.1737	0.8518
C.P.4	0.62939	0.30383	0.0899	0.9417
C.P.5	0.32556	0.26857	0.0465	0.9883
C.P.6	0.05699	0.03175	0.0081	0.9964
C.P.7	0.02524	.	0.0036	1.00000

*Se seleccionan los valores característicos P=1

Cuadro 11. Valores característicos de las 7 variables cuantitativas asociados a los 3 componentes principales en 50 accesiones de *Solanum phureja*.

VARIABLE	C.P.1	C.P.2	C.P.3
Peso fresco	0.467794	0.031791	0.479402
Diámetro longitudinal	-0.005327	-.513472	0.611665
Diámetro ecuatorial 1	0.495853	0.364364	0.007561
Diámetro ecuatorial 2	0.510035	0.330680	0.012083
Materia seca	-0.311107	0.416027	-0.041084
Azúcares reductores	0.266907	-0.307313	-0.556354
Gravedad Específica	-0.327274	0.475085	0.290892

expresando el 24% de la variabilidad genética de las accesiones. El diámetro longitudinal es una característica de la calidad externa del tubérculo referente a su tamaño y forma; Gómez (2000) reporta que el tamaño de los tubérculos depende de la variedad, el rendimiento en la cosecha y el número de tubérculos por metro cuadrado.

Es necesario tener en cuenta que las hojuelas preparadas con papa de baja gravedad específica (menor a 1.0777) tienden a absorber más grasa y disminuir su rendimiento, que las hojuelas preparadas con papas de alta gravedad específica (Lyman *et al*, 1961).

El tercer componente principal representa el 17.37% de la variabilidad, esta expresado por el diámetro longitudinal y el contenido de azúcares reductores.

Talbert *et al.* (1959) afirman que los tubérculos pequeños tienden a acumular mayor contenido de azúcares reductores que los tubérculos grandes. En las accesiones evaluadas el 44% de la población pertenece a la clase 2, el 38% a la clase 3 y solo el 8% a la clase 1 no se encuentran tubérculos clase 0.

Las variedades con baja gravedad específica tienden a acumular más azúcares que las variedades con altos valores de gravedad específica, esto se confirma al observar el

coeficiente de correlación entre la gravedad específica y el contenido de azúcares reductores siendo este de -0.5797** ($p < 0.001$); el cual muestra una relación inversa entre las dos variables, así que es posible encontrar genotipos en esta colección con valores altos de gravedad específica y bajos contenidos de azúcares reductores o lo contrario.

El dendograma de la Figura 1 relaciona las accesiones y permite visualizar la variabilidad de la colección por parámetros de calidad para la industria, al cortar a 2.747 unidades de distancia en el dendograma se detectan cuatro grupos constituidos de la siguiente manera :

Grupo 1. La característica principal de este grupo es la forma concertinada del tubérculo y la profundidad media de sus ojos. Los valores de: diámetro longitudinal: 4.06* cm; diámetro ecuatorial I: 2.91* cm ; diámetro ecuatorial II: 3.26* cm ; gravedad específica: 1.07514*; contenido de azúcares reductores 21.23* mg por g de peso fresco ; y la materia seca: 20.08*% (* promedios), (Cuadro 12).

Subgrupo 1a. Lo compone un solo genotipo, 1. Uva. Es una papa de color amarillo tanto en pulpa como en la piel; su contenido de materia seca fue bajo: 17.60%. así como su valor de la gravedad específica 1.0589, por el contrario el contenido de azúcares reductores es demasiado alto 17.65 mg por g de peso fresco (Cuadro 12).

Cuadro 12. Síntesis de los resultados de los grupos Cluster.

VAR	1*	2a	2b	2c	3a	3b	3c	3d*	4a	4b*	4c*
v1	26.97	21.73	24.79	29.58	27.96	27.09	13.04	10.69	21.75	22.92	21.47
v2	4.06	3.52	7.62	4.96	3.99	3.62	3.1	2.3	2.88	3.18	4.77
v3	2.91	2.88	2.13	3	3.22	3.23	2.54	2.47	3.14	3.48	3.34
v4	3.26	3.18	2.47	3.3	3.63	3.66	2.76	2.78	3.43	3.85	3.58
v5	.	2	.	4	2	2	4	1	1	1	.
v6	8	.	4	8
v7	5	3	3	1	3	3	3	3	5	5	7
v8	2	2	2	7	6	2	6	2	8	7	8
v9	2	2	2	2	2	2	1	3	3	2	3
v10	8	0	0	0	2	6	5	6	0	0	0
v11	6	0	0	0	5	4	6	4	0	0	0
v12	1	4	2	1	1	2	4	1	4	4	1
v13	3	3	3	2	0	3	7	0	5	5	2
v14	1	1	1	1	0	2	5	0	5	5	3
v15	20.08	21.01	20.21	21.99	20.33	19.5	23.12	27.46	20.79	21.86	21.33
v16	21.23	17.3	20.07	3.93	20.21	30.27	16.72	1.86	31.3	25.59	44.36
v17	1.075	1.078	1.075	1.098	1.076	1.071	1.082	1.084	1.077	1.063	1.081

* Grupos representados por un solo genotipo.

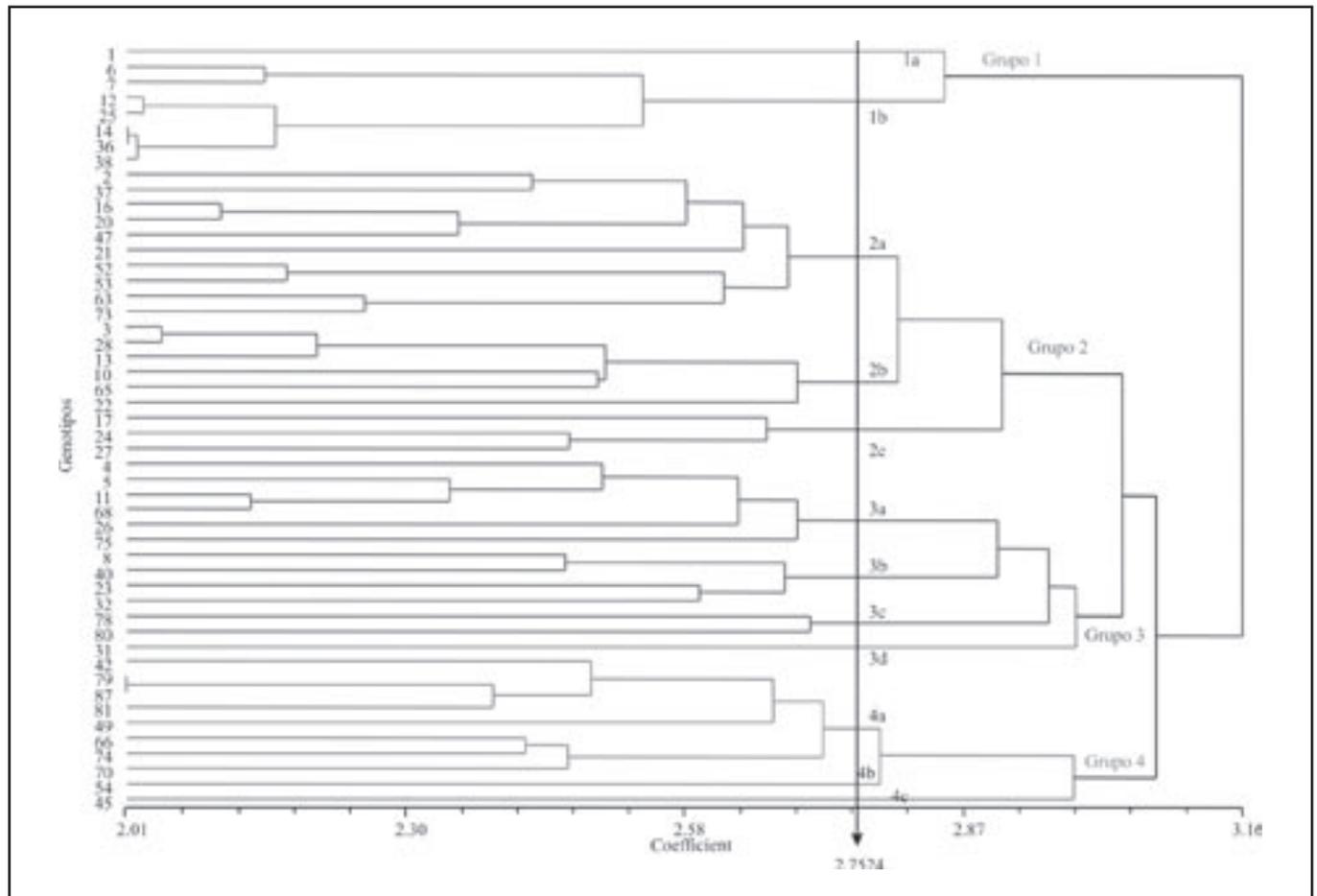


Figura 1. Dendrograma con 50 accesiones de *Solanum phureja*

Subgrupo 1b. Esta conformado por los genotipos: 6. Chaucha ratona, 7. Borrega blanca, 12. Borrega amarilla, 25. Borrega blanca, 14. Borrega blanca, 36.S.N. FDR 3, 38. S.N, Las características de estos tubérculos son un color secundario de su piel morado formando manchas salpicadas y la distribución del color secundario de carne es en forma de manchas dispersas de color blanco, crema o amarillo.

Grupo 2. Se caracteriza en que ninguno de sus genotipos tiene color secundario de piel, su materia seca es de 20.96% y la gravedad específica es 1.0803.

Subgrupo 2a. Esta constituido por: 2. Chaucha blanca, 37. S.N.FDR 34, 16. Yema de huevo, 20. Yema de huevo, 47. Chaucha carilla, 21. Algodona, 52 S.N., 53. S.N., 63. Pepina amarilla, 73. Las similitudes de este grupo consisten en que los tubérculos son de forma general: obovado (2), oblongo (37), comprimido (16, 20 y 21), oblongo - alargado (47), redondo (52, 53 y 73) y elíptico (63); poseen profundidad media de ojos con un color de piel amarillo o rosado (53 y 52), su color de pulpa puede ser amarillo o crema. Su mínimo porcentaje de materia seca es 18.87%.

Subgrupo 2b. En este grupo se encuentran los genotipos: 3. Borrega amarilla, 28. Chaucha botella amarilla, 13. Chaucha ratona, 10. Borrega amarilla, 65. Chaucha ratona, 22. Borrega. Se caracterizan en que sus tubérculos tienen forma rara: fusiforme (3, 28, 13 y 65), falcada (10) y reniforme (22); la profundidad de sus ojos es superficial, su color de piel es amarillo claro y el color de pulpa es crema o amarillo.

Subgrupo 2c. Esta conformado por los genotipos: 17. Ratona, 24. Ratona roja, 27. Ratona chiqueña. Sus tubérculos son de forma general obovada y elíptica con ojos superficiales y sobresalientes, color de piel rojo - morado (24 y 27) o morado (17) y color de pulpa blanco. El máximo contenido de azúcares reductores que poseen fue 10.93 mg por g de peso fresco y un promedio del contenido de materia seca de 21.99% y gravedad específica de 1.09797.

Grupo 3, subgrupo 3a. En este grupo se encuentran los genotipos: 4. Chaucha colorada, 5. Mambera, 11. Mambera, 68. Careta, 26. Uva, 75. Criolla negra. Entre las características comunes que presentan es la forma general del tubérculo redonda aunque el genotipo 26 tiene forma obovada y el genotipo 75 tiene forma rara concertinada, con una profundidad de ojos en su mayoría superficiales y con un color principal de piel el cual puede ser rojo (4, 5, 11, 68 y 75) y rosado (26) y un color secundario de piel amarillo con la forma de anteojos, manchas salpicadas o en los ojos. Son tubérculos de clase 2 por su tamaño, ya que los valores de los diámetros están entre: Peso fresco: 27.96* g, diámetro longitudinal 3.99*cm, diámetro ecuatorial I: 3.22*cm, diámetro ecuatorial II. 3.63* cm.

Grupo 3, subgrupo 3b. Esta conformado por: 8. Chaucha mambera, 40. Soliman, 23. Naranjilla, 32. Algodona.

Estos genotipos se caracterizan por tener forma general redonda con un color principal de piel amarillo y color secundario de piel rojo (8 Y 23), rosado(40) Y morado (32) en forma de manchas salpicadas o dispersas y como anteojos, con una profundidad de ojos superficial y media un color de pulpa entre blanco y amarillo. Su porcentaje promedio de materia seca es 19.5%.

Grupo 3, subgrupo 3c. Solo 2 genotipos lo forman: 78. Chaucha negra y 80 S.N. Tienen forma de tubérculo general obovada y comprimida, sus ojos tienen una profundidad media. La intensidad de su color principal es pálido (78 rojo - 80 amarillo) y el amarillo es su color principal de carne. Son tubérculos pequeños con un diámetro longitudinal de 2.43cm a 3.76cm, diámetro ecuatorial I. De 2.5 cm, y un diámetro ecuatorial II. entre 2.6 y 2.9. Su gravedad específica es de 1.08 y la materia seca está entre 21.4% y 24.9%.

Grupo 3, subgrupo 3d. Esta conformado por un solo genotipo. 31. Chaucha morada, posee las siguientes características: forma general comprimida con una profundidad de ojos media, su color principal de piel es amarillo oscuro y su color secundario de piel es rojo en forma de manchas dispersas, con un color de pulpa blanco. El valor de gravedad específica es 1.0842, materia seca 27.46% y el contenido de azúcares reductores es de 1.86 mg por g de peso fresco. Su tamaño es de clase 3, por que su diámetro longitudinal es 2.3 cm, el diámetro ecuatorial I. 2.47, y su diámetro ecuatorial II. es 2.78 cm.

Grupo 4, subgrupo 4a. Está compuesto por: 42. Criolla rosada, 79. Chaucha ojona, 87. Turma de perro, 81. Chaucha colorada redonda, 49. Chaucha negra, 66. Chaucha, 74. S.N y 70. S.N. Se destacan por ser tubérculos de forma general comprimidos y redondos con ojos de profundidad media y superficial, su color principal de piel se encuentra entre rojo (42, 79, 87, 81) y morado (49, 66, 74, 70), y algunas variedades tienen color secundario de piel amarillo oscuro (42, 49 y 74) distribuidos en forma de manchas dispersas o como un anillo vascular angosto y su color principal de carne es amarillo (42, 79, 87 y 66), crema (81 y 49), y blanco (74 y 70).

El diámetro longitudinal: 2.88* cm, diámetro ecuatorial I: 3.14* cm, y el diámetro ecuatorial II: 3.55* cm. La gravedad específica tiene un valor de 1.0767* con una materia seca de 20.79%.

Grupo 4, subgrupo 4b. Lo conforma un solo genotipo: 54. S.N. Es un tubérculo de forma comprimida de clase 2 ya que su peso fresco es de 22.92 g y su diámetro longitudinal es de 3.48 cm, tiene una profundidad de ojos media con un color de piel rojo - morado y de pulpa amarillo. Posee el contenido de azúcares reductores más alto en la muestra (62.59 mg por g de peso fresco), con un contenido de materia seca de 21.86%. Su diámetro ecuatorial I es 3.48 cm y un diámetro ecuatorial II es 3.85 cm.

Grupo 4, subgrupo 4c. Constituido por un genotipo, el 45. Chaucha, es un tubérculo de clase 2 de forma rara

concertinada con ojos profundos, el color de su piel es morado, el color de su carne es blanco crema. Su diámetro longitudinal es de 4.77 cm, el diámetro ecuatorial I. 3.34 cm, y su diámetro ecuatorial II. 3.58 cm. Con una gravedad específica de 1.0814 y un porcentaje de materia seca del 21.3%.

El grupo 1 sobresale por estar formado por genotipos de peso fresco alto (36 y 38 g) con forma concertinada. El grupo 2a esta representado por accesiones con buenas características industriales, ya que su color principal del de piel es amarillo, son de forma redonda y tamaño entre clase 2 y 3 ; los genotipos 20 y 21 tienen un contenido de azúcares reductores bastante bajo (1.92 y 1.66 mg por g de peso fresco), mientras que los genotipos 37, 16, 20 y 21 poseen los más altos valores de gravedad específica. El grupo 2b se distingue por estar compuesto de los tubérculos con mayor diámetros longitudinal 3, 13, 10, 65 y 22, aunque con formas raras, no utilizadas en las industria por la generación de pérdidas de materia prima.

El grupo 3a tiene los diámetros ecuatoriales 2 de mayor de mayor valor (4, 5, 11 y 68). Son tubérculos de forma redonda y algunos de baja gravedad específica (4, 68 y 26), están exentos de antocianinas. El grupo 3b posee tubérculos con valores en peso fresco y diámetro ecuatorial altos. El grupo 3c solo cumple con un requisito de la industria procesadora de papa, una gravedad específica superior a 1.080. El grupo 3d está constituido por el genotipo 31 que se destaca por sus óptimas características industriales para productos fritos , pero su peso fresco es de 10.69 g.

El grupo 4a supera (20.79%) el porcentaje de materia seca requerido por la industria que es como mínimo el 18%. El grupo 4b, formado por el genotipo 54 posee los valores más altos en los diámetros ecuatoriales pero su contenido de azúcares reductores y la gravedad específica lo hacen no apto para el procesamiento. El grupo 4c , se destaca por sus valores de materia seca (21.33%) y gravedad específica (1.081 g/l), aptos para la industria pero tiene forma concertinada.

En la Colección Central Colombiana de la especie *Solanum phureja* existe variabilidad genética que abre las puertas a múltiples ofertas al mercado por su inmensa variedad en formas, tamaños y colores del tubérculo tanto en piel como en carne.

Los tubérculos de los genotipos 16, 20, 21, 68, 79, 80 y 81 cumplen con los parámetros requeridos por la industria para el procesamiento encurtidos en salmuera o vinagre, según las características expresadas en el Cuadro 3 ; a sí mismo los genotipos 16, 20 y 21 sirven también para la fabricación de productos precocidos enlatados o congelados empacados al vacío de acuerdo a variables relacionadas en el mismo cuadro. Pero es necesario realizar otras pruebas fisicoquímicas y organolépticas en el producto final para verificar el comportamiento de sus características industriales y promover su uso por parte de los productores.

La accesión 23 cumple con la mayoría de los requisitos para el procesamiento de papa frita en hojuelas, siendo determinante los altos valores de los diámetros longitudinal y ecuatorial 2 para su selección.

B I B L I O G R A F I A

- BONILLA, D y MARTIN, G. 1997. Identificación y análisis de la variabilidad morfológica de 59 cultivares de papa criolla (*Solanum Phureja Juz et Buk*) de la Colección Central Colombiana, Santafé de Bogotá, Trabajo de grado (Biólogo) : Universidad Distrital Francisco José de Caldas. P. 25 - 80.
- BURTON, W. 1948. The potato. A survey of its history and of factors influencing its yield, nutritive value and storage. Chapman and Hall Ltda. London. P. 319-321.
- CARDONA, J. 2000. Variación genética de *Solanum phureja Juz et Buk* por respuesta a requerimientos industriales. Anteproyecto para Postgrado en Fito-mejoramiento. Corpoica. 27p.
- ESTRADA, N. 2000. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. CIP - IPGRI - PRACPA - IBTA - PROINPA - COSUDE - CID. Editorial del Centro de información para el desarrollo. La Paz, Bolivia. 372 p.
- GOMEZ, C.; BUITRAGO, C.; CANTE, M. y HUERTAS, B. 1999. Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para consumo fresco y para la industria. EN: Revista Comalfi, Vol. 26, No. 1 -3, P 42 - 55.
- GOMEZ, L y RAMIREZ, J. 1999. Manejo, procesamiento y comercialización de papa. Serie de paquetes de capacitación sobre el manejo post cosecha de frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. Número 25. Convenio Sena - Reino Unido. Armenia, Quindío. Editorial UNESCO. P. 3 - 72.
- GUERRA, P. 1989. Análisis de algunos caracteres químicos y tecnológicos relacionados con la calidad de la papa (*Solanum tuberosum*, L). (INCA) Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Universidad Nacional de Colombia. Diciembre. 25p.
- GUTIERREZ, M. 1994. Métodos avanzados en fisiología vegetal experimental. Colegio de Postgrados en ciencias agrícolas, Instituto de Recursos Naturales. Programa de Botánica. Texaca, México. P. 29 - 41.
- HARRIS, P. 1992. The potato crop. The scientific basis for improvement. Second edición. Chapman and Hall. London. P. 506 - 557.
- HERNANDEZ, E. 1989. Herencia de los factores de calidad para procesamiento de papas autotetraploides. Tesis Magister scientiae : Universidad Nacional La Molina, Escuela de post grado. Lima, Perú. P. 6-27.
- HERRERA, C. 2000. Manejo integrado del cultivo de la papa. Manual técnico. Corpoica, Regional uno. 196 p.
- HOUGLAND, G. 1966 New conversion table for specific gravity dry matter and starch in potatoes. EN : American Potato Journal. Vol 43. P 138.

- HUAMAN, Z. 1994. Descriptores de papa para la caracterización básica de colecciones nacionales. Lima : CIP. 11p.
- JAIMES, M y VELASQUEZ, M. 1996. Proceso industrial de la papa “criolla” yema de huevo (*Solanum phureja*). EN : Papas colombianas. Fedepapa. P. 87 -88.
- ICA, Resolución 0400 del 30 de Diciembre de 1997
- IICA, 1999. Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa. Bogotá. 108 p.
- LYMAN, S Y MACKAY, A. 1961. Effect of specific gravity, storage, and conditioning on potato chip color. EN : American Potato. Vol. 38. P. 51 - 57.
- MORENO, J. 2000. Calidad de la papa para usos industriales. EN : Papas colombianas. Fedepapa. P. 44 - 47.
- PLA, L. 1986. Análisis multivariado : método de componentes principales. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Programa de Desarrollo Científico y tecnológico. Washington D.C. 94 p.
- PINEDA, R. 1996. Perspectivas para el desarrollo agroindustrial del cultivo de papa en Colombia. EN : Papas colombianas. Fedepapa. P. 70 -77.
- PORRAS, P. 2000. Guía para papa criolla. Clon 1. EN : Papas colombianas. Fedepapa. P. 65-66.
- RHOLF, F. 1994. NTSYS. Versión 1.80. Manual de usuario. Applied Biostatistics. Inc. 120p.
- SAS. - STAT. 1996. Guide Release 6.10. Edition SAS, Institute. Inc. Cary N.C. USA. 102p.
- TALBURT, W y SMITH, O. 1959. Potato processing. The Avi publishing company, inc. Westport, Connecticut. 475 p.