

Evaluación de cinco genotipos promisorios de papa *Solanum tuberosum* sp. *andigena* según desempeño agronómico y calidad industrial

Evaluation of five promissory genotypes of potato *Solanum tuberosum* sp. *andigena* for agronomic characters and industrial quality

Nancy M. Martínez¹ y Gustavo A. Ligarreto²

Resumen: Con base en variables cualitativas y cuantitativas se llevó a cabo la evaluación de cinco genotipos promisorios de papa *Solanum tuberosum* sp. *andigena* pertenecientes a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –CORPOICA– y de la variedad Diacol Capiro, en siete localidades del país. Los resultados se analizaron por métodos univariados y multivariados para conocer las características que discriminaban a los materiales. En el análisis multivariado de componentes principales, los primeros cuatro componentes representan el 95,22% de la variación total. Las variables de mayor influencia fueron época de maduración, época de emergencia, peso total de los tubérculos por parcela, peso de los tubérculos de tamaño primera, peso de los tubérculos de tamaño cero, peso de los tubérculos de tamaño cuarta, gravedad específica y materia seca. Se detectó que existe interacción significativa entre genotipo y ambiente para las variables de rendimiento en frito y calidad industrial, las cuales, según el análisis de estabilidad fenotípica de Kang (1991), permitieron seleccionar los clones 2, 7 y 14 como los más rindidores y estables según las características peso total de los tubérculos por parcela, materia seca y rendimiento en frito. Considerando el índice de rendimiento y la estabilidad fenotípica combinadas, el clon 7 se recomienda como el material más promisorio.

Palabras clave adicionales: Rendimiento, parámetros industriales, estabilidad fenotípica.

Summary: Five promising *Solanum tuberosum* sp. *andigena* potato genotypes were evaluated based on their qualitative and quantitative variables (as were the Diacol Capiro variety) at seven different locations forming part of the Colombian Agricultural Research Corporation (CORPOICA), Regional Agricultural Research Programme. Univariate and multivariate methods were used for analysing the results to identifying which traits differentiated materials. The first four components represented 95.22% of total variation in main component analysis; the variables having most influence were: maturation time, time of year for sprouting, total tuber weight per lot, first-size tuber weight, zero-size tuber weight, fourth-size tuber weight, specific gravity and dry material. Significant genotype *cf* environment interaction was detected in yield and industrial quality variables which, according Kang's phenotypical stability analysis (1991), would mean that clones 2, 7 and 14 should be selected as producing the best yield and being the most stable in terms of total tuber weight per lot, dry matter and fried yield. Clone 7 would thus be recommended as being the most promising new improved variety in terms of yield and stability index.

Additional key words: Yield, industrial parameters, phenotypic stability.

Fecha de recepción: 16 de diciembre de 2004
Aceptado para publicación: 27 de mayo de 2005

- 1 Investigadora, Programa de Recursos Genéticos y Biotecnología Vegetal, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –CORPOICA–, C.I. Tibaitatá. e-mail: marcy_ms@yahoo.com
- 2 Profesor Asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: galigarretom@unal.edu.co

Introducción

EL CONSUMO DE PAPA PROCESADA se ha incrementado en las últimas décadas, en especial en las grandes ciudades, probablemente a causa de un cambio en los patrones alimenticios y la tendencia a utilizar alimentos preparados o de fácil preparación. Este hecho origina nuevos mercados para los alimentos procesados importados, así como mercados potenciales que utilizan materia prima producida localmente en áreas en las que antes sólo se producía para consumo fresco. Las papas fritas, en hojuelas o en tiras, son los productos procesados más importantes y es probable que esta tendencia siga incrementándose en el futuro (Bonierbale *et al.*, 2000).

En Colombia se procesan anualmente entre 170 y 260 mil toneladas de papa, la mayor parte de las cuales se destinan a producir papas fritas en hojuelas y a la francesa, lo que representa entre 8 y 10% de la producción nacional de papa (Moreno, 2001). En el país hay cerca de 70 industrias dedicadas a la actividad de procesamiento de la papa, con diferente capacidad, niveles de desarrollo tecnológico y variada presencia en el mercado. Estas industrias se dedican, en especial, a la fabricación de papa frita en hojuelas, francesa y prefrita congelada (Moreno, 2001a).

Por otra parte, es importante que los productores cuenten con variedades adecuadas, tanto para el procesamiento como para el consumo fresco, o de doble propósito, ya que esto les permitiría solucionar problemas como la regularidad en el abastecimiento del producto o aplicar el manejo apropiado para cada variedad, según su uso industrial o en fresco (Bonierbale *et al.*, 2000). Actualmente, la variedad de papa más utilizada en Colombia para el procesamiento es la Diacol Capiro por sus apropiadas características industriales como la concentración de azúcares reductores, el rendimiento y la gravedad específica; no obstante, una de las desventajas de esta variedad es que presenta poca tolerancia a la gota (*Phytophthora infestans*). Por esta razón es necesario disponer de nuevos genotipos que, además de cumplir los requerimientos exigidos por la industria, presenten características favorables en su comportamiento agronómico (Moreno, 2001).

Algunas características deseables de las variedades de papa para procesamiento, según Bonierbale *et al.* (2000), Estrada (2000), Gómez y Ramírez (1999), y Avella y Parra (1997), son: para las papas en hojuelas deben proceder de tubérculos con forma redonda-ova-

lada, ojos superficiales para facilitar el pelado mecánico con mínima pérdida de materia prima, con un tamaño aproximado entre 4 y 7 cm de diámetro, es decir, papa tamaño cero y primera; la pulpa debe ser blanca, crema o amarillo claro; deben estar libres de mancha parda causada por daño mecánico, sin rajaduras ni pigmentación con antocianinas, corazón hueco y presentar resistencia a la manipulación y almacenamiento.

Según INCA (1989), la gravedad específica debe ser mayor de 1,085, siendo éste uno de los factores más importantes, tanto para consumo fresco como para la mayoría de productos procesados, puesto que determina de forma directa el rendimiento, la menor absorción de aceite y el tiempo de fritura, y por consiguiente, la disminución de costos. La concentración de azúcares reductores debe ser inferior a $0,2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ peso fresco y debe tener un buen sabor después del procesamiento.

Teniendo en cuenta la acción de los mecanismos genéticos que controlan la calidad en poscosecha, la inestabilidad de las características de calidad frente a las condiciones ambientales de producción y almacenamiento, y la probabilidad de que los genotipos superiores para calidad de procesamiento sean adaptados a condiciones específicas, ambientales y de manejo, el Programa Regional de Investigación Agrícola del C.I. Tibaitatá de CORPOICA, desarrolló cinco clones promisorios para uso industrial, los cuales fueron utilizados en este estudio con el objetivo de seleccionar clones de papa según parámetros agronómicos y de calidad industrial para las principales zonas productoras del país.

Materiales y métodos

El presente trabajo se realizó en siete localidades de Colombia ubicadas en las zonas agroecológicas Fa, Fg, y Fn, importantes en la producción de papa en el país (Tabla 1), (IGAC, 1985). Las pruebas de laboratorio se realizaron en el C.I. Tibaitatá de CORPOICA (Mosquera, Cundinamarca).

Se utilizaron tubérculos semilla de cinco genotipos promisorios, pertenecientes a CORPOICA, denominados: clon 1, clon 2, clon 7, clon 9, clon 14 y como testigo la variedad Diacol Capiro. El clon 1 proviene del cruce de ICA Puracé x Bogotá; el clon 2 proviene del cruce de Perricholi x Rosita y el clon 14 es una introducción del Centro Internacional de la Papa -CIP-; la genealogía de los clones 7 y 9 se desconoce.

Tabla 1. Localización y ambientes en los cuales se evaluaron los genotipos en estudio.

Departamento	Municipio	Vereda	Altitud (m.s.n.m.)	Precipitación promedio anual (mm)	Temperatura promedio (°C)
1. Cundinamarca	Mosquera	C.I Tibaitatá	2.542	720	13
2. Cundinamarca	Sibaté	San Rafael	2.720	1.200	13
3. Boyacá	Ventaquemada	Jurpa	2.870	1.157	13
4. Boyacá	Duitama	Uso Chicamocha	2.500	860	14
5. Antioquia	La Unión	La Aurora	2.600	2.000	15
6. Nariño	Gualmatán	La Cofradía	2.650	1.100	14
7. Nariño	Túquerres	Guayaquila	3.100	1.100	12

Los clones se sembraron en parcelas de cuatro surcos, con una distancia de 1 m entre ellos para las localidades Mosquera, Sibaté, Duitama, La Unión, Gualmatán y 1,2 m en las localidades Ventaquemada y Túquerres. Cada surco tenía una longitud de cinco metros y se distribuyeron 15 tubérculos por surco, a una distancia de 30 cm uno de otro. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres replicaciones.

La evaluación se realizó respecto de 11 variables cuantitativas: 1) color primario de la flor; 2) color secundario de la flor; 3) reacción a gota (*Phytophthora infestans*); 4) tipo de planta; 5) color de la piel del tubérculo; 6) color de la pulpa del tubérculo; 7) profundidad de ojos; 8) color de la hojuela frita; 9) absorción de aceite por la hojuela; 10) textura de la hojuela y 11) sabor de la hojuela, según los descriptores propuestos por el CIP (Huamán, 1994). Por otra parte, también se evaluaron 18 variables cuantitativas relacionadas con precocidad, peso del tubérculo, gravedad específica, materia seca, azúcares reductores por los métodos de Nelson y glucocinta, peso de las hojuelas y rendimiento en frito.

La clasificación de los tubérculos por tamaño se realizó teniendo en cuenta la Resolución No. 0400 de 1997 del Instituto Colombiano Agropecuario -ICA-, según la cual los tubérculos con peso mayor de 150 g son de tamaño cero, entre 120 y 150 g son de tamaño primera, entre 70 y 119 g son de tamaño segunda, de 40 a 69 g son de tamaño tercera y los menores de 40 g se consideran de tamaño cuarta.

Se determinó la cantidad de mg de azúcares reductores por gramo de peso fresco del tubérculo mediante la técnica analítica de Nelson (Gutiérrez *et al.*, 1994) y por el método de la glucocinta. Para la fritura, el tubérculo se cortó en hojuelas de 1 mm de grosor, se tomaron tres tubérculos de cada material y repetición, se frie-

ron en aceite vegetal a 180°C durante tres minutos. El rendimiento en frito se calculó mediante la relación del porcentaje entre el peso de hojuelas en fresco y el peso de las hojuelas fritas, mientras que el rendimiento en fresco vs. rendimiento en frito se determinó para conocer cuantos gramos de tubérculo fresco se necesitaban para obtener 1.000 g de hojuelas fritas.

Los datos se analizaron mediante técnicas de estadística simple como promedios, varianzas y desviación estándar. También se realizaron análisis de varianza combinados para localidades, estadística multivariada de componentes principales y análisis de cluster utilizando la distancia Gower (Sneath y Sokal, 1973; Pla, 1986; Rojas, 2003).

El análisis estadístico de estabilidad fenotípica de los cinco genotipos evaluados en siete ambientes se realizó mediante la metodología propuesta por Kang (1991), la cual utiliza un recurso estadístico que reúne la selección por rendimiento y la estabilidad fenotípica. En el estudio se procesaron los datos mediante una macro en el programa SAS que permite obtener el índice de rendimiento-estabilidad y la varianza de Shukla por REML (*Restricted Maximum Likelihood*); la macro utilizada fue la propuesta por Cotes *et al.* (2002).

Resultados y discusión

Los promedios, varianzas, desviaciones estándar y coeficientes de variación de los 18 caracteres cuantitativos de los clones evaluados en siete localidades se presentan en la Tabla 2. El mayor coeficiente de variación fue para la variable (V19) peso de los tubérculos de tercera por parcela (113,94), mientras que el menor lo presentó la variable (V22) gravedad específica (0,92); lo primero se debe a la alta variabilidad causada por el efecto del ambiente sobre la variable peso de los tubérculos de ter-

cera, mientras que lo segundo se deriva de la similitud de los datos para la variable gravedad específica en los clones evaluados y la variedad Diacol Capiro en las diferentes localidades evaluadas.

Tabla 2. Estadísticas simples de variables cuantitativas de cinco genotipos promisorios y la variedad Diacol Capiro.

Variables	N° Obs.	Valores		Pro-medios	Varianzas	Desviación estándar	Coeficientes de variación %
		Mínimos	Máximos				
V12	126	15,00	27,00	21,03	7,34	2,71	12,88
V13	126	32,00	85,00	62,74	141,84	11,91	18,98
V14	126	86,00	160,00	128,88	478,73	21,88	16,97
V15	126	130,00	200,00	163,14	386,51	19,66	12,05
V16	34	0,70	74,00	23,69	487,96	22,09	93,24
V17	104	0,78	135,00	40,38	1.132,99	33,66	83,35
V18	105	0,74	41,80	13,81	76,03	8,72	103,25
V19	87	0,45	44,00	8,89	102,61	10,13	113,94
V20	53	0,56	20,00	7,15	30,03	5,48	76,64
V21	126	2,20	168,00	59,99	1.393,52	37,33	62,22
V22	126	1,05	1,12	1,08	0,0001	0,01	0,92
V23	126	18,50	29,90	22,39	6,10	2,47	11,03
V24	80	0,01	1,11	0,24	0,04	0,21	87,50
V25	126	0,04	0,37	0,16	0,004	0,07	43,75
V26	126	20,03	173,92	78,55	949,87	30,82	39,23
V27	126	53,71	491,86	228,95	7.800,42	88,32	38,57
V28	126	26,95	40,03	34,35	4,41	2,10	6,11
V29	126	2.497,92	3.710,16	2.922,14	3.5261,3	187,78	6,42

Debido a que existe una importante estructura de correlación significativa entre la variable peso total de los tubérculos por parcela con las variables época de emergencia, época de madurez, época de cosecha, peso de los tubérculos de tamaño cero, primera, tercera y cuarta; así también entre gravedad específica con materia seca, entre otras, es conveniente la aplicación de métodos estadísticos multivariados como el de componentes principales para conocer cuales variables discriminan los clones en estudio.

En el análisis de componentes principales para las variables cuantitativas, se aprecia que los primeros cuatro componentes representan el 95,22% de la variación total (Tabla 3). El primer componente aportó el 51,08%, el segundo 22,98%, el tercero 12,02%, mientras que el cuarto componente contribuyó con 9,12% de esta variación. El alto porcentaje de la variación total explicada por los cuatro primeros componentes sugiere que estos contienen variables que discriminan a los materiales en estudio.

Al analizar los vectores característicos (Tabla 4), se encontró que para el primer componente las variables de mayor influencia en la discriminación de los materiales

en estudio fueron el peso total de los tubérculos (coeficiente = 0,338), el peso de los tubérculos de primera (0,326) y el peso de los tubérculos tamaño cero (0,318). Las características que más aportan en la diferenciación en el segundo componente fueron la gravedad específica (-0,449), los días a la emergencia (0,435) y la materia seca (-0,431). En el tercer componente la separación de los materiales se debió al aporte de la variable peso de los tubérculos de cuarta por parcela (-0,563); en el cuarto componente la época de maduración (-0,432) fue el descriptor que mejor discriminó los genotipos.

Tabla 3. Componentes principales seleccionados por su valor característico ($\lambda \geq 1$) a partir de 12 variables cuantitativas evaluadas en siete ambientes.

Componentes principales	Valores característicos	Diferencias de valores característicos	Proporciones de la varianza total	
			Absoluta (%)	Acumulada
1. Rendimiento en campo	8,68	4,47	51,08	51,08
2. Calidad industrial	3,90	1,86	22,98	74,07
3. Rendimiento en campo	2,04	0,49	12,02	86,09
4. Precocidad	1,55	0,73	9,12	95,22

Tabla 4. Variación representada por los coeficientes de variables cuantitativas en cada vector característico asociado a los cuatro componentes principales de cinco genotipos promisorios y Diacol Capiro.

Variables	Vectores característicos			
	1°	2°	3°	4°
V12 Época de emergencia	-0,022	0,435	0,345	0,006
V13 Época de floración	-0,302	-0,159	0,076	0,153
V14 Época de madurez	0,213	0,095	0,217	-0,432
V16 Peso tubérculos 0	0,318	0,108	0,114	0,131
V17 Peso tubérculos 1	0,326	-0,043	0,038	0,133
V18 Peso tubérculos 2	0,230	0,181	-0,276	-0,358
V19 Peso tubérculos 3	0,290	0,189	-0,186	-0,181
V20 Peso tubérculos 4	-0,074	0,106	-0,563	0,395
V21 Peso total tubérculos	0,338	0,013	-0,023	0,046
V22 Gravedad específica	0,085	-0,449	0,237	-0,110
V23 Materia seca	0,149	-0,431	0,140	-0,137
V24 Azúcares red. Nelson	0,257	0,212	-0,040	0,304
V25 Azúcares red. Glucocinta	0,215	0,272	0,076	-0,088
V26 Peso hojuela fresca	0,237	-0,113	0,196	0,368
V27 Peso hojuela frita	0,258	-0,077	0,259	0,398
V28 Rendimiento en frito	0,235	-0,287	-0,305	-0,058
V29 Rendimiento fresco vs. frito	-0,240	0,268	0,318	0,066

El análisis de componentes principales permitió identificar que las variables relacionadas con el rendimiento en campo, la calidad industrial y la precocidad están

asociadas a los cuatro componentes de mayor importancia. Los resultados anteriores son semejantes a los reportados por Avella y Parra (1997), quienes encontraron que las variables época de floración, época de tuberización, porcentaje de materia seca, gravedad específica y concentración de azúcares reductores, fueron importantes para caracterizar la colección colombiana de *Solanum tuberosum sp. andigena* desde el punto de vista de calidad industrial.

La concentración de azúcares reductores es una de las características más importantes reportada por la literatura para la diferenciación de materiales de uso industrial; sin embargo, en este estudio esta variable no discriminó a los clones evaluados, posiblemente porque en el proceso de selección se optimizaron las características de calidad de los materiales para uso industrial; al respecto se ha conocido que la tasa de acumulación de los azúcares reductores está genéticamente determinada y exhibe alta heredabilidad.

Los métodos de la glucocinta y Nelson presentaron una baja correlación, lo que se puede explicar porque la prueba de la glucocinta se realizó cuando se recibió el material procedente de cada localidad, mientras que para la prueba de Nelson los materiales, secos y molidos, permanecieron almacenados dos meses en un cuarto de baja humedad y temperatura constante, y se desconoce el efecto de dicho almacenamiento en los materiales, aunque Gómez *et al.* (2000) afirman que una vez el material seco y molido no se presenta conversión de azúcares.

Además otro factor que pudo haber influido este resultado es el tamaño de los tubérculos utilizados. Gómez *et al.* (2000), encontraron que a menor tamaño del tubérculo, mayor es la concentración de azúcares reductores; a su vez, afirman que el contenido de sacarosa y azúcares reductores en los tejidos de los tubérculos puede variar considerablemente en diferentes partes de éste, posiblemente como resultado de las condiciones de crecimiento y el tiempo de cosecha. Dentro de un tubérculo hay usualmente una disminución del gradiente de azúcares reductores o una distribución uniforme de sacarosa del ápice a la base del tubérculo.

En este estudio se encontró que a mayor altura de las localidades mayor es la concentración de azúcares reductores, resultado que coincide con los reportados por Perilla y Cifuentes (2001) y Rodríguez (2001).

Evaluación agronómica

En la Tabla 5, los análisis de varianza muestran que las variables época de maduración, peso de los tubérculos de primera y peso total de los tubérculos presentaron diferencias altamente significativas para localidad, genotipo y localidad por genotipo. El peso de tubérculos tamaño cero presentó diferencias altamente significativas para localidad y genotipo. El peso de los tubérculos de cuarta mostró diferencias significativas para localidad por genotipo. Respecto de la época de emergencia se encontraron diferencias altamente significativas para localidad y genotipo por localidad y significativas para genotipo. Estas diferencias se deben a la alta variación entre los materiales en estudio, como se describe a continuación, y al efecto del ambiente sobre los caracteres poligénicos que rigen estas características.

Tabla 5. Componentes de varianza estimados para las variables seleccionadas en los componentes principales¹.

Variable	Cuadrados medios				
	Localidad	Error (a)	Genotipo	Genotipo x localidad	Error (b)
V12 Epoca emergencia	129,608**	0,039	2,774*	2,189**	0,868
V14 Epoca madurez	9004,888**	103,293	103,441**	92,685**	15,988
V16 Peso tub. 0	58,391**	4,750	3,026**	0,603	0,526
V17 Peso tub. 1	13.381,886**	60,526	3311,605**	722,109**	70,434
V20 Peso tub. 4	23,419**	0,661	0,696**	0,393*	0,144
V21 Peso total tubérculos	16.022,568**	381,776	8.592,863**	734,605**	110,285

¹Grados de libertad variables por desbalance del diseño.

*Significativa al 5% ($P < 0,05$).

**Significativa al 1% ($P < 0,01$).

En el análisis por localidades para las variables de carácter agronómico que discriminan los cultivares, y según el análisis de componentes principales, se encontró que la característica época de madurez fluctuó de 86 días en la localidad La Unión a 155 días en la localidad de Túquerres.

Si estos resultados se analizan desde el punto de vista de la altitud de los sitios de evaluación, las localidades con menores altitudes van de 2.500 a 2.650 m.s.n.m. (C.I. Tibaitatá, Duitama, La Unión y Gualmatán) y las localidades con mayor altura, de 2.720 a 3.100 m.s.n.m. (Sibaté, Ventaquemada y Túquerres). En los sitios de menor altitud la época de madurez osciló entre 86 y 150 días y en las localidades altas, fue de 126 a 160 días. Ello sugiere que a menor altitud los materiales son más precoces que a mayor altitud, lo que

se puede explicar por el hecho de que a menor altura se aceleran los ciclos de crecimiento de la planta. Se afirma que cuando la intensidad de luz es baja, como sucede en los páramos y zonas altas, el crecimiento del follaje se estimula y el crecimiento del tubérculo se retarda, lo que prolonga el ciclo de crecimiento y desarrollo de la planta.

Los valores observados para la característica época de emergencia variaron de 17 días en la localidad de Túquerres a 24 días en la localidad de Duitama; si los resultados se analizan desde el punto de vista de la altitud de las localidades, en las localidades bajas los materiales mostraron que su época de emergencia varió de 19 a 24 días, mientras que para las zonas altas fueron de 17 a 23 días.

La época de madurez es importante debido a que es una de las características que contribuye a determinar la precocidad de los clones, junto con la época de floración, días a la presencia de estolones, días al inicio de tuberización y días a la maduración del tubérculo. Aquellos materiales precoces pueden satisfacer la demanda de la industria sin necesidad de recurrir a la importación de materia prima; la producción temprana de brotes se podría manejar con agentes químicos pero esto originaría aumentos en los costos de producción (Bonierbale *et al.*, 2000; Gómez *et al.*, 2000; Gómez y Ramírez, 1999). Malagamba (1997) afirma que en una variedad precoz la duración de la dormancia no es necesariamente corta.

Se encontró que el mayor peso de tubérculos de tamaño cero fue producido por el clon 14, seguido por los clones 7, 1, 2 y la variedad Diacol Capiro. El mayor peso de tubérculos de primera lo obtuvo el clon 7 seguido por los clones 14, 2, 1, 9 y la variedad Diacol Capiro, mientras que, el mayor peso de tubérculos de cuarta fue producido por el clon 2 (10,05 kg/parcela), seguido por la variedad Diacol Capiro y los clones 1, 14, 9 y 7.

Estos resultados indican que el clon 14, por ser el que produce mayor peso de tubérculos tamaño cero, resultaría apto para la industria de papa a la francesa que requiere tubérculos de tamaño grande; por su parte, los clones 7, 2 y 1 serían los más aptos para la industria de chips debido al rendimiento obtenido en tubérculos de primera, ya que las rodajas fritas producidas por este tamaño de tubérculo se mantienen enteras dentro del envase en el que se venden al consumidor (Gómez y Ramírez, 1999). El rendimiento de los tubérculos de cuarta fue muy bajo, lo cual es bueno para la industria de chips, puesto que este tamaño no es apto para ese

uso y no se incurriría en pérdidas al obtener un alto rendimiento de tubérculos pequeños. (Moreno, 2001; Gómez y Ramírez, 1999).

El peso total de los tubérculos por parcela es un indicativo del rendimiento de los materiales en el campo; el valor obtenido en este estudio para la variedad Diacol Capiro (11,74 t · ha⁻¹) es muy bajo si se compara con su rendimiento comercial (25 a 30 t · ha⁻¹), lo cual se debe a la alta susceptibilidad que presenta la variedad a *P. infestans*; según Cotes (2000) cuando se realiza control químico de esta enfermedad, la variedad reduce sus rendimientos de manera considerable por reducción del área foliar, lo que afecta de manera directa el llenado de los tubérculos y su rendimiento, ya que un buen desarrollo foliar, fotosintéticamente activo, es necesario para la iniciación de la tuberización y el llenado de los tubérculos.

A su vez, si se comparan los rendimientos obtenidos por los clones promisorios, que van de 26,7 t · ha⁻¹ para el clon 9 a 39,11 t · ha⁻¹ para el clon 2, y con los rendimientos comerciales de ICA Zipa (20 a 30 t · ha⁻¹) e ICA Única (30 a 45 t · ha⁻¹), variedades utilizadas para el procesamiento (Universidad Nacional de Colombia, ICA-Fedepapa, 1995), se puede decir que los rendimientos de los clones promisorios son buenos y están dentro del rango establecido por las variedades más utilizadas en la industria nacional.

Si los resultados obtenidos para peso total de los tubérculos por parcela se analizan desde el punto de vista de la altitud de las localidades, en las zonas bajas (2.500 a 2.650 m.s.n.m.) los materiales mostraron que su peso va de 2 a 155 kg/parcela, mientras que para las zonas altas (2.720 a 3.100 m.s.n.m.) fue de 16 a 90 kg/parcela, valores que indican un mayor rendimiento por parcela en las zonas bajas. Esto se explica, según porque cuando la intensidad de luz es alta, como sucede en las localidades bajas, la iniciación de la tuberización y su desarrollo es temprana, la longitud máxima del tallo se alcanza rápidamente y el rendimiento es alto. Además, es necesario aclarar que en las zonas bajas se presentó una mayor distancia de siembra respecto a la de las zonas altas, pues en estas últimas la distancia entre surcos fue de 1,20 m, que corresponde a la utilizada por los productores de dichas zonas.

Evaluación industrial

En la Tabla 6 se observa que las variables gravedad específica y materia seca presentan diferencias altamente

significativas para localidad y para genotipo, y significativas para localidad por genotipo, siendo atribuibles estas diferencias al efecto del ambiente sobre el comportamiento de los clones.

Tabla 6. Componentes de varianza estimados de cinco genotipos promisorios y Diacol Capiro y siete ambientes para procesamiento industrial¹.

Variable	Cuadrados medios				
	Localidad	Error (a)	Genotipo	Genotipo x Localidad	Error (b)
V22 G. específica	0,0003**	0,0003	0,0007**	0,0001**	0,00007
V23 Materia seca	26,778**	12,379	20,296**	4,533 *	2,813

¹ Grados de libertad variables por desbalance del diseño

* Significativa al 5% ($P < 0,05$).

** Significativa al 1% ($P < 0,01$).

En el análisis por localidades se encontró que el cultivar que presentó mayores valores para las variables gravedad específica y porcentaje de materia seca fue el clon 7 (1,11 y 27,85%) en la localidad Gualmatán, mientras que el de menores valores fue el clon 1 (1,071 y 19,43%) en la localidad Duitama.

Ahora, si se discriminan las altitudes de las localidades de evaluación en altas y en bajas, el índice de gravedad específica en las zonas bajas fue de 1,071 a 1,116 y en las zonas altas de 1,071 a 1,097, mientras que el comportamiento del porcentaje de materia seca en las zonas bajas fue de 19,9 a 27,8% y en las zonas altas de 19,5 a 24,4%.

Según Killick y Simmonds (1974) y Jefferies y MacKerron (1986), la materia seca se considera como una característica de alta heredabilidad y baja interacción genotipo por ambiente, una combinación que favorece el mejoramiento, al ser constantes las diferencias genéticas de un ambiente a otro.

En las variables materia seca y gravedad específica, se puede observar que en ambientes de menor

altura es mayor el porcentaje y la relación $g \cdot g^{-1}$, respectivamente (Figuras 1 y 2). Los resultados obtenidos para las variables materia seca y gravedad específica, concuerdan con los reportados por Houghland (1967); Storey y Davies (1992); Cacace *et al.* (1994) y Dale y Makay (1996), quienes encontraron una alta correlación entre estas características. Según Freyre y Douches (1994), esta correlación se debe a que el contenido de materia seca suele ser estimado por la gravedad específica, pues el contenido de materia seca puede determinarse directamente por el secado de las muestras, pero este método requiere mucho tiempo y es destructivo, mientras que la determinación por medio de la gravedad específica es más rápida y menos costosa.

Los valores de gravedad específica y contenido de materia seca para los clones promisorios y la variedad

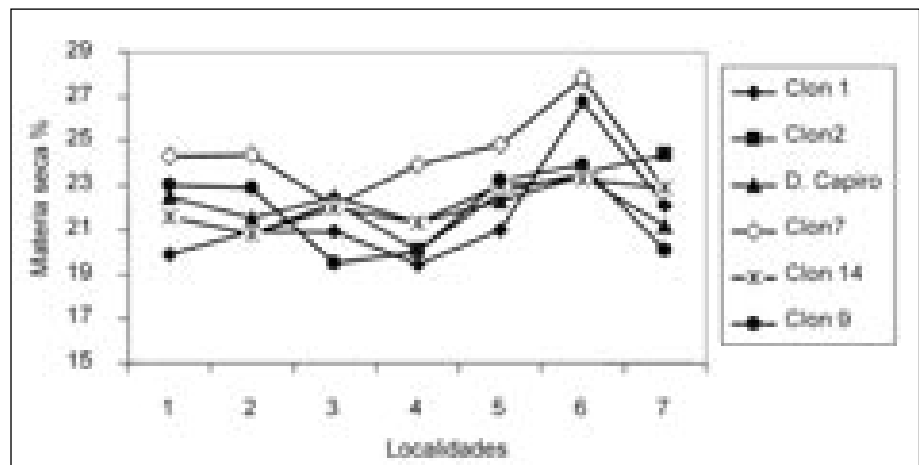


Figura 1. Interacción genotipo por localidad de cinco clones promisorios de papa y la variedad Diacol Capiro para la variable contenido de materia seca. Fuente: Universidad Nacional de Colombia, ICA, Fedepapa. 1995.

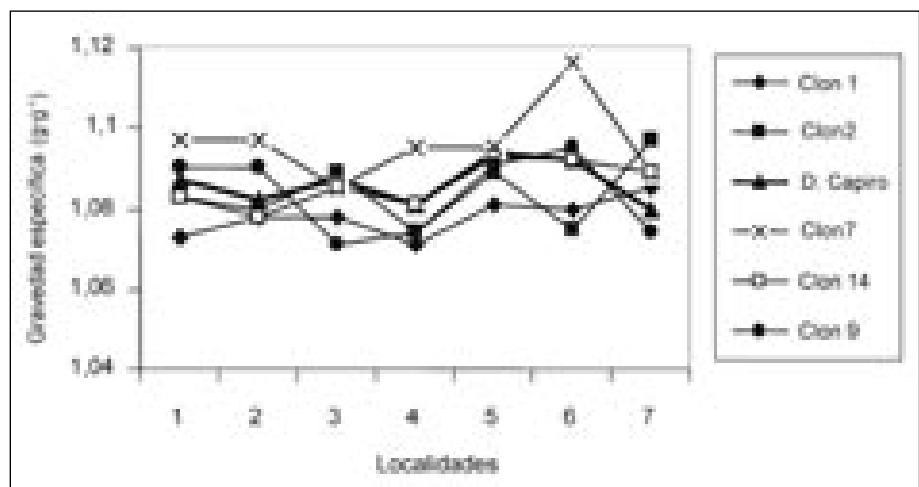


Figura 2. Interacción genotipo por localidad de cinco clones promisorios de papa y la variedad Diacol Capiro para la variable gravedad específica.

Diacol Capiro señalan su aptitud para el procesamiento, pues sus valores de gravedad específica son superiores a 1.085 y su contenido de materia seca está dentro del rango de 17 a 25%, valores exigidos por la industria (INCA, 1989; Gómez y Ramírez, 1999). Para hacer un análisis por genotipo, se hizo una prueba de comparación de promedios (Tabla 7), de las variables de mayor interés para los procesadores.

Tabla 7. Prueba de comparación de promedios para las variables de interés industrial.

Genotipo	Promedios			
	V21 Peso tot. tuber (kg/parcela)	V22 G. específica (g · g ⁻¹)	V23 Mat. seca (%)	V28 Rend. frito (%)
Clon 1	59,9 c*	1,07 c	21,6 b	34,0 a
Clon 2	78,2 a	1,08 b	22,2 b	35,4 a
Clon 7	76,1 a	1,09 a	24,3 a	35,5 a
Clon 9	53,4 d	1,08 b	21,8 b	33,5 b
Clon 14	68,7 b	1,08 b	22,1 b	33,7 b
Capiro	23,4 e	1,08 b	22,1 b	33,7 b

*Promedios con letra común no presentan diferencias significativas, según prueba de Duncan ($P < 0,05$).

Según Álvarez y Repo (1999), a mayor porcentaje de materia seca, el proceso de fritura debe evaporar menor cantidad de agua y por esta razón el rendimiento en frito es mayor; esta afirmación fue corroborada en este estudio al observar el comportamiento de los clones y la variedad Diacol Capiro en las diferentes localidades. Si la aceptación de un clon para uso industrial dependiera sólo de las variables evaluadas en la Tabla 7, los clones 7 y 2 serían los más aptos para el procesamiento de chips.

Análisis de cluster

La Figura 3 registra la variabilidad genética de los cinco clones evaluados y la variedad Diacol Capiro, medida en 11 variables de descripción cualitativas y 18 cuantitativas; la variabilidad está representada por tres grupos: el grupo I está conformado por los clones 1, 2, 7 y 14, el grupo II está conformado por el clon 9 y el grupo III por la variedad Diacol Capiro. La Tabla 8 resume las características cualitativas y cuantitativas, cuyas modas y promedios permitieron conocer la variabilidad según parámetros agronómicos y calidad industrial de los materiales en estudio; en el dendograma de la Figura 3 se observa la cercanía y disimilitud entre los materiales.

Tabla 8. Descripción varietal por variables cuantitativas y cualitativas de cinco clones promisorios y Diacol Capiro evaluados en siete ambientes.

Variable	Clones					
	1	2	7	9	14	Capiro
V1 color prim. flor	7	6	6	8	6	7
V2 color sec. flor	1	1	1	0	1	0
V3 Toleran. gota	2	2	2	1	1	3
V6 Color pulpa	2	4	2	2	2	2
V8 Color hoj. frita	3	1	2	1	2	1
V11 Sabor hojuela	1	1	1	3	1	1
V16 Peso tub. 0	24,35	24,20	25,82	17,66	27,77	4,00
V17 Peso tub. 1	43,58	47,79	55,18	29,66	47,86	15,83
V21 Peso total tub.	59,95	78,23	76,12	53,40	68,78	23,49
V26 Peso hoj. fresca	211,16	238,99	257,30	198,73	284,105	183,45
V27 Peso hoj. frita	71,34	84,73	91,10	66,14	96,77	61,24

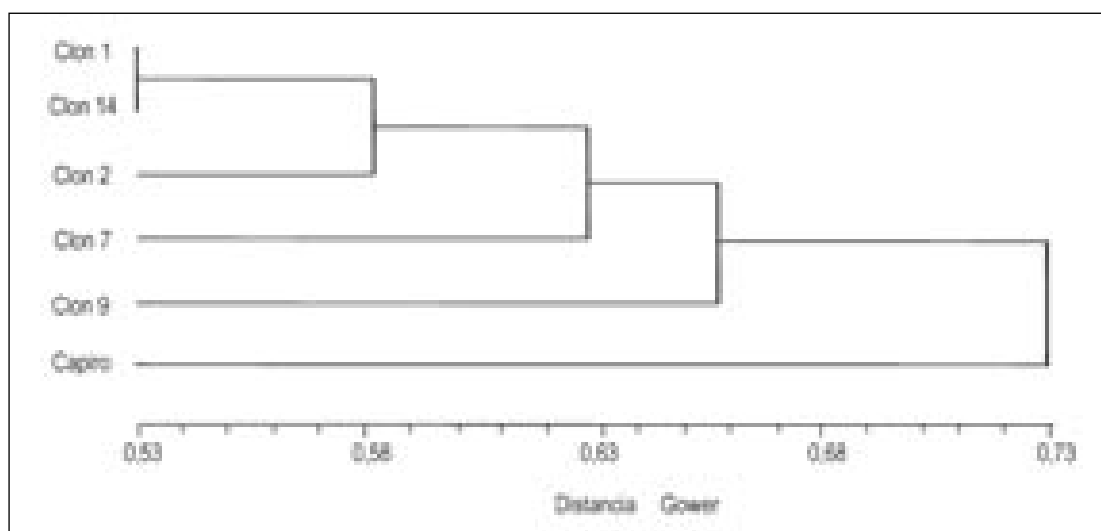


Figura 3. Dendrograma de cinco genotipos promisorios y la variedad Diacol Capiro a partir de 29 variables cualitativas y cuantitativas.

Las principales características que diferencian los tres grupos obtenidos de la variabilidad genética de los clones evaluados y la variedad Diacol Capiro se exponen a continuación. Para los clones pertenecientes al *grupo I*: el color primario de la flor es lila, el color secundario en la flor es blanco, la incidencia de gota es de 0 al 2,5%, el color de la pulpa es crema, el color de la hojuela frita es crema intenso y su sabor es muy bueno, la época promedio de madurez es de 127 a 132 días, el peso de los tubérculos tamaño cero es de 24 a 28 kg/parcela de 20 m², el peso de los tubérculos de primera es de 60 a 78 kg/parcela de 20 m², el peso de los tubérculos totales por parcela oscila de 59 a 78 kg, el peso de las hojuelas fritas va de 71 a 97 g y el peso de las hojuelas frescas varió de 211 a 284 g.

Para el *grupo II*: el color primario de la flor es violeta no hay color secundario en la flor, la incidencia de gota fue de 0%, el color de la pulpa es crema, el color de la hojuela frita es blanco o crema y su sabor es insípido, la época de madurez es de 132 días, el peso de los tubérculos tamaño cero es 17,66 kg/parcela de 20 m², el peso de los tubérculos de primera es 29,66 kg/parcela de 20 m², el peso promedio de los tubérculos totales por parcela es 53,40 kg, el peso de las hojuelas fritas es 66 g y el peso de las hojuelas frescas es 198 g.

Para el *grupo III*: el color primario de la flor es morado, no hay color secundario en la flor, la incidencia de gota fue del 10%, el color de la pulpa es crema, el color de la hojuela frita es blanco o crema y su sabor es muy bueno, la época de madurez es de 126 días, el peso de los tubérculos tamaño cero es 4,0 kg/parcela de 20 m², el peso de los tubérculos de primera es 15,83 kg/parcela de 20 m², el peso de los tubérculos totales por parcela es 23,49 kg, el peso de las hojuelas fritas es 61 g y el peso de las hojuelas frescas es 183 g.

Análisis del rendimiento y estabilidad

En las Tablas anexas 1, 2 y 3, aparece el puntaje del rendimiento (rango), el ranqueo por la prueba DMS al 10% (ajuste por DMS), la suma del puntaje y el ajuste por DMS (puntaje ajustado), la varianza de Shukla, el error estándar de la varianza de Shukla y el índice de rendimiento-estabilidad (RE). Para la variable peso total de tubérculos por parcela, de los seis clones analizados se encontró uno clasificado como inestable (puntaje Shukla -4, $P < 0,05$), mientras que para las variables materia seca y rendimiento en frito no se encuentran clones en dicha categoría.

Para la característica peso total de tubérculos por parcela, el mejor clon por el índice de rendimiento-estabilidad fue el clon 2, el cual, a su vez, presenta el mayor rendimiento. Para las variables materia seca y rendimiento en frito el clon 7 según el índice de rendimiento-estabilidad, presenta los mayores valores para éstas características y es estable (puntaje Shukla de 0). Para materia seca y rendimiento en frito el segundo mejor clon es el clon 2 que es estable (puntaje Shukla de 0) y muestra los segundos mejores valores para éstas variables.

El resumen del análisis de estabilidad de la Tabla 9 muestra que los clones 2, 7 y 14 presentan estabilidad para la variable peso total de tubérculos por parcela, mientras que los clones 2 y 7 muestran estabilidad para materia seca y rendimiento en frito. El índice de rendimiento-estabilidad (RE) combinado permite estimar directamente la importancia de las variables, ya que direcciona el proceso de selección de los clones, puesto que se espera encontrar un genotipo que tenga una distribución determinada de las características acorde con las necesidades del mercado (Cotes, 2000). Así, se le asigna un coeficiente por el cual se multiplica cada índice RE, dependiendo de la importancia que se le pretenda dar a cada una de las variables (Cotes, 2000). En este caso es igual para las tres características, lo cual representa el 33,3% para cada una de ellas. Según éste criterio, los clones más estables son el 2, el 7 y el 14 (Tabla 9).

Tabla 9. Resumen del análisis de rendimiento-estabilidad mediante el método de Kang (1991) con base en las características materia seca, gravedad específica, peso total de la parcela, rendimiento en frito y rendimiento total para cinco clones promisorios y Diacol Capiro en siete ambientes.

Genotipo	RE			Total *
	Peso total parcela	Materia seca	Rendimiento en frito	
Clon 1	NO	NO	NO	NO
Clon 2	SI	SI	SI	SI
Clon 7	SI	SI	SI	SI
Clon 9	NO	NO	NO	NO
Clon 14	SI	NO	NO	SI
Capiro	NO	NO	NO	NO

RE: índice de rendimiento-estabilidad

*RE total=33,3% Peso total parcela+ 33,3% Materia seca+ 33,3%+ Rendimiento en frito.

Según la información anterior el clon 7 es el más promisorio para entregarse como una nueva variedad mejorada debido a que presenta estabilidad para las variables, peso total de los tubérculos por parcela, materia seca y rendi-

miento en frito, en todas las localidades evaluadas. Cuando la selección es dirigida, es decir cuando a cada variable se le asigna un porcentaje, los clones 2, 7 y 14 resultan ser los más promisorios para entregarse como nuevas variedades mejoradas al presentar un índice de rendimiento-estabilidad alto en todas las localidades evaluadas.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este estudio, el clon que presentó los valores más apropiados para la industria según las variables cuantitativas más importantes del análisis de componentes principales, fue el clon 7 seguido por el clon 2. Es importante resaltar que en este estudio se tuvo en cuenta la variable rendimiento en frito, que no fue importante en los componentes principales pero que permite saber el verdadero rendimiento que interesa a los procesadores de papa.

En cuanto a los métodos estadísticos utilizados en este estudio, el análisis de componentes principales permitió identificar las variables época de emergencia, época de madurez, peso de los tubérculos tamaño cero, primera y cuarta, peso total de tubérculos por parcela, gravedad específica y materia seca, como las características más importantes en la diferenciación de los cinco clones promisorios y la variedad Diacol Capiro.

El método de agrupamiento para las variables cualitativas y cuantitativas permitió conocer la variabilidad por parámetros agronómicos y de calidad industrial de los materiales en estudio; en el dendograma (Figura 3) se observa la cercanía o disimilitud entre los materiales, y muestra que los clones 7, 2, 1 y 14 son los más aptos para ser utilizados en el procesamiento de papa por las características que presentaron; a su vez, el análisis de rendimiento-estabilidad de las características peso total de los tubérculos por parcela, materia seca y rendimiento en frito permitió identificar los clones 7, 2 y 14 para ser lanzados como nuevas variedades mejoradas.

De acuerdo a los análisis de los caracteres agronómicos y de calidad industrial para los cinco clones promisorios de papa, el clon 7 fue el más sobresaliente por lo cual se recomienda tenerlo en cuenta como una alternativa de diversificación genética de los materiales utilizados en la industria.

Agradecimientos

Los autores dan sus agradecimientos a: José Dilmer Moreno, investigador del Programa Nacional de Recursos Genéticos y Biotecnología Agrícola de CORPOICA, Cen-

tro de Investigación Tibaitatá, Mosquera (Cundinamarca) por su gran aporte en la coordinación y apoyo logístico en los ensayos regionales de evaluar los clones de papa; así mismo, a José Miguel Cotes, docente de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, por su contribución en el procesamiento de los datos.

Tabla anexa 1. Análisis de rendimiento y estabilidad en la variable peso total de la parcela mediante el método de Kang (1991).

Genotipo	Pro-medio	Rango	Ajuste por DMS	Rango ajustado	Varianza Shukla	Error estandar	Rango por Shukla	RE
Capiro	23,49	1	-3	-2	1018,85	617,22	-4	-6
Clon 9	53,40	2	-1	1	369,46	243,56	-2	-1
Clon 1	59,95	3	-1	2	14,86	39,71	0	2
Clon 14	68,78	4	1	5	111,66	94,20	0	5✓
Clon 7	76,12	5	1	6	0	0	0	6✓
Clon 2	78,23	6	2	8	0	0	0	8✓
Promedio	59,99							2,33

DMS: Diferencia Mínima Significativa.

Tabla anexa 2. Análisis de rendimiento y estabilidad en la variable materia seca mediante el método de Kang (1991).

Genotipo	Pro-medio	Rango	Ajuste por DMS	Rango ajustado	Varianza Shukla	Error estandar	Rango por Shukla	RE
Clon 1	21,61	1	-1	0	2,6122	2,1800	0	0
Clon 9	21,83	2	-1	1	1,5057	1,5254	0	1
Capiro	22,15	3	-1	2	0	0	0	2
Clon 14	22,17	4	-1	3	0	0	0	3
Clon 2	22,23	5	-1	4	0,5001	0,9337	0	4✓
Clon 7	24,33	6	2	8	1,0790	1,2965	0	8✓
Promedio	22,38							3,0

Tabla anexa 3. Análisis de rendimiento y estabilidad en la variable rendimiento en frito mediante el método de Kang (1991).

Genotipo	Pro-medio	Rango	Ajuste por DMS	Rango ajustado	Varianza Shukla	Error estandar	Rango por Shukla	RE
Clon 9	33,58	1	-1	0	0	0	0	0
Capiro	33,72	2	-1	1	2,0081	1,8274	0	1
Clon 14	33,77	3	-1	2	0,1620	0,7801	0	2
Clon 1	34,05	4	-1	3	0	0	0	3
Clon 2	35,40	5	1	6	0	0	0	6✓
Clon 7	35,58	6	2	8	0	0	0	8✓
Promedio	34,35							3,33

Literatura citada

- Álvarez, M. y R. Repo. 1999. Desarrollo de productos de papas nativas. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima. 108 p.
- Avella, A. y H. Parra. 1997. Evaluación de la colección central colombiana de papa (*Solanum tuberosum* sp. *andigena*) por los parámetros de precocidad y calidad industrial en el Centro de Investigación Tibaitatá, municipio de Mosquera. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 72 p.
- Bonierbale, M.; W. Amorós; X. Espinoza; X. Li y T. Walker. 2000. Estrategias y desafíos para el mejoramiento de papa para procesamiento. En: Simposio Internacional Avances en la Agroindustria de la Papa. C. I. Tibaitatá, noviembre 28 a diciembre 1 de 2000. 12 p.
- Cacace, J. M. Huarte y M. Monti. 1994. Evaluation of potato cooking quality in Argentina. American Potato Journal 71, 145-153.
- Cotes, J. 2000. Análisis e interpretación de la interacción genotipo por ambiente en 24 clones de papa *Solanum tuberosum* sp. *andigena*. Tesis de Magister en Ciencias Agrarias. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 86 p.
- Cotes, J.M.; C.E. Núñez; R. Martínez y N. Estrada. 2002. Analyzing genotype by environment interaction in potato using yield-stability index. American Journal of Potato Research 79, 211-218.
- Dale, M. y G. Mackay. 1996. Herencia de la calidad de mesa y procesamiento. Scottish Crop Research Institute. Invergowrie, UK. 20 p.
- Estrada, N. 2000. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. PROIMPA, CID, CIP. Bolivia. 372 p.
- Freyre, R y D. Douches. 1994. Development of a model for marker-assisted selection of specific gravity in diploid potato across environments. Crop Science 34, 1361-1368.
- Gómez, C.; C. Buitrago; A. Cante y B. Huertas. 2000. Ecofisiología de papa *Solanum tuberosum* utilizada para consumo fresco y para la industria. Revista Comalfi 26(1-3), 42-55.
- Gómez, L y J. Ramírez. 1999. Manejo post-cosecha y comercialización de papa (*Solanum tuberosum*). Serie de paquetes de capacitación sobre manejo post-cosecha de frutas, raíces y tubérculos No. 25. SENA. Editorial Fudesco, Armenia. 122 p.
- Gower, J. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics 27, 857-874.
- Gutiérrez, R; M. San Miguel; T. Navas y S. Larque. 1994. Métodos avanzados en fisiología vegetal experimental. Colegio de Postgrados en Ciencias Agrícolas. Instituto de Recursos Naturales, Programa de Botánica. Texcoco, México. pp. 29-42.
- Hernández, E. 1989. Herencia de los factores de calidad para el procesamiento de papas autotetraploides. Tesis de Posgrado. Universidad Agraria de La Molina, Lima.
- Houghland, G. 1967. New conversion table for specific gravity, dry matter, and starch in potatoes. American Potato Journal 43, 138.
- Huaman, Z. 1994. Descriptores de la papa para la caracterización básica de colecciones nacionales. CIP, Lima. 15 p.
- IGAC - Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1985. Zonificación agroecológica de Colombia. Bogotá, Colombia. Memoria explicativa. 57 p.
- INCA - Instituto Nacional de Ciencias Agrarias. 1989. Boletín informativo No. 5. La Habana. pp. 18-20.
- Jefferies, R. y D. MacKerron. 1986 Tuber dry matter concentration of potato cultivars in relations to soil moisture. Aspects of Applied Biology 13, 425-427.
- Kang, M.S. 1991. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: Consequences for growers. Agronomy Journal 85, 754-757.
- Killick, R. y N. Simmonds. 1974. Specific gravity of potato tubers as a character showing small genotype-environment interactions. Heredity 32 (1), 109-112.
- Malagamba, P. 1997. Fisiología y manejo de tubérculos semillas de papa. En: Curso sobre producción de semillas de papa y manejo empresarial. 17 de febrero - 7 de marzo de 1997. Lima, Huancayo.
- Moreno, J. 2001. Manejo y toma de datos de las pruebas de evaluación agronomía de clones promisorios de papa para procesamiento. Corpoica, Regional 1, C.I. Tibaitatá. 13 p.
- Moreno, J. 2001. Milenia 1: variedad de papa apta para procesamiento en hojuelas. Innovación y Cambio Tecnológico (2)1, 20-25.
- Perilla, A. y O. Cifuentes. 2001. Evaluación y selección preliminar por rendimiento de tubérculo y potencial industrial de 36 clones de papa (*Solanum tuberosum* L.). Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Pla, L. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. Secretaría OEA, Washington, D.C. 94 p.
- Rodríguez, L.E. 2001. Comunicación personal. Profesor Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Rojas, W. 2003. Análisis multivariado en estudios de variabilidad genética. En: Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos filogenéticos. Franco e Hidalgo (eds.). IPGRI, Boletín Técnico No. 8. Roma. 90 p.
- Sneath, P. y R. Sokal. 1973. Numerical taxonomy. Freeman, San Francisco. 573 p.
- Storey, R. y H. Davies. 1992. Tuber quality. En: The potato crop. Department of Agriculture. University of Reading. Chapman & Hall, Londres. 881 p.