



Caracterización morfo-agronómica y análisis de interacción genotipo-ambiente en cultivares de papa

Morpho-agronomic characterization and genotype-environment interaction analysis in potato cultivars

Yarisyen Márquez-Vasallo*, Jorge Luis Salomón-Díaz, Rosa Acosta-Roca

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

RESUMEN: El estudio de la interacción genotipo-ambiente es uno de los factores determinantes en la selección y recomendación de cultivares, lo que permite incrementar la eficiencia del mejoramiento genético. Con el objetivo de evaluar morfo-agronómicamente y analizar los efectos interactivos de 16 cultivares de papa con el ambiente, éstos se evaluaron en tres localidades del país durante dos años, considerando las campañas agrícolas 2015-2016 y 2016-2017. A partir de los Análisis de Varianza efectuados y del estudio de los efectos interactivos de los caracteres con el ambiente, se determinó la existencia de diferencias significativas entre los cultivares y se procedió al análisis de estabilidad, utilizando el modelo AMMI y el gráfico Biplot GGE. Se constató variabilidad en el comportamiento de los caracteres cualitativos evaluados, así como en los cuantitativos, detectando en estos últimos las mayores interacciones con el ambiente. Al respecto, fueron identificados los cultivares más estables en los ambientes evaluados para cada carácter cuantitativo, así como aquellos con mayores adaptaciones específicas a los ambientes estudiados. Por su significación, se cuenta por primera vez para Cuba, con información al respecto, lo que podrá ser utilizado no sólo en los programas de mejora que se desarrollan en el país, sino como criterio para trazar estrategias de diversificación del cultivo.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, adaptación, estabilidad, mejoramiento genético, selección.

ABSTRACT: The study of genotype-environment interaction is one of the determining factors in the selection and recommendation of cultivars, which allows increasing the efficiency of genetic improvement. With the objective of morpho-agronomically evaluating and analyzing the interactive effects of 16 potato cultivars with the environment, these were evaluated in three localities of the country during two years, considering 2015-2016 and 2016-2017 agricultural seasons. From the Analysis of Variance performed and the study of the interactive effects of the traits with the environment, the existence of significant differences between cultivars was determined and the stability analysis was proceeded, using the AMMI model and the Biplot GGE graph. Variability was found in the behavior of the qualitative and quantitative traits evaluated, allowing the detection of the greatest interactions between the latter and the environment. In this regard, the most stable cultivars in the environments evaluated for each quantitative trait were identified, as well as those with the greatest specific adaptations to the environments studied. Due to its significance, for the first time in Cuba, information on this subject is available, which could be used not only in the breeding programs developed in the country, but also as a criterion to outline strategies for crop diversification by the associated ministries.

Key words: *Solanum tuberosum* L., adaptation, stability, genetic improvement, selection.

*Autor para correspondencia: yarisyenmv@gmail.com

Recibido: 19/09/2021

Aceptado: 28/01/2022



INTRODUCCIÓN

Solanum tuberosum L. (Familia Solanaceae, Sección Petota) (1) proviene de las especies silvestres encontradas al norte del Lago Titicaca, sur del Perú actual (2). Es uno de los cultivos alimenticios más importantes difundidos a nivel mundial (3). En cuanto a producción e importancia alimenticia, la papa ocupa el cuarto lugar después del arroz, el trigo y el maíz (4). La producción anual mundial suma 370 millones de toneladas, aproximadamente, y cubre alrededor de 17 millones de hectáreas, para un rendimiento promedio de 21,4 t ha⁻¹ (5). La necesidad de satisfacer la demanda de los alimentos a nivel mundial es cada día mayor, en ese sentido, está orientado el uso del mejoramiento genético de los cultivos, en función de la obtención de materiales genéticos con características acordes a las demandas productivas (6).

En Cuba, la papa ocupa el primer lugar entre las raíces y tubérculos y se plantan cada año alrededor de 6600 ha en seis provincias (Artemisa, Mayabeque, Matanzas, Cienfuegos, Villa Clara y Ciego de Ávila), con un rendimiento medio entre 18 y 25 t ha⁻¹ y una producción anual entre 200.000 y 300.000 t. Existen 16 cultivares de papa cubanos; sin embargo, la producción del cultivo se basa en un espectro varietal con cultivares foráneos, aproximadamente, 30 cultivares en generalización y extensión (7).

En la etapa final del mejoramiento genético, el estudio de la interacción genotipo-ambiente es un tema de relevancia, siendo uno de los factores determinantes en la selección y recomendación de cultivares (8).

Conocer la magnitud de la interacción genotipo-ambiente permite evaluar la estabilidad de los cultivares en la gama de ambientes en que se quiere introducir, así como los potenciales productivos y limitaciones de éstos en las localidades (9).

Basado en lo anteriormente expuesto, el objetivo de este trabajo es caracterizar morfo-agronómicamente y analizar los efectos de la interacción genotipo-ambiente de 16 cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) en seis ambientes del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Los cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) utilizados en el presente estudio fueron: Melanto, Burren, Faluka, Panamera, Santana, Rudolph, Ultra, Dirosso, Zinared, Spunta, Taisiya, Romano, Electra, Passion, Barna, La Perla, todos introducidos desde Holanda.

Metodología

Con el objetivo de analizar los efectos interactivos de los cultivares con el ambiente, se realizó el experimento en tres localidades del país: 1) Área experimental de la Finca "Las Papas", Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), municipio de San José de Las Lajas, provincia Mayabeque; 2) Empresa Agropecuaria "Máximo Gómez", municipio Perico, provincia Matanzas y 3) Empresa de Cultivos Varios "La Cuba", municipio Ciego de Ávila, provincia Ciego de Ávila.

En cada localidad, los experimentos fueron efectuados durante dos años, considerando las campañas agrícolas 2015-2016 y 2016-2017. La fecha de plantación en cada localidad fue entre los días 12 al 17 de diciembre de 2015 y 2016, respectivamente.

En todas las localidades los experimentos se llevaron a cabo en un diseño de bloques completos al azar con cuatro réplicas. Cada parcela midió 2,25 x 1,8 m con dos surcos separados a 90 cm entre ellas y 25 cm entre plantas, con 20 plantas por parcela. Para todos los casos, se adoptaron las labores culturales recomendadas para el manejo del cultivo (7).

Evaluación morfo-agronómica de cultivares

Al momento de la cosecha, se efectuó la evaluación morfológica de los cultivares, evaluándose los caracteres cualitativos y cuantitativos de la planta (Tablas 1 y 2), detallándose su forma de evaluación de acuerdo a los descriptores correspondientes. La descripción y forma de evaluación de los caracteres cualitativos fueron tomadas de lo descrito anteriormente en la literatura (10).

Tabla 1. Descripción y forma de evaluación de los caracteres cualitativos

Caracteres cualitativos		
CpT	Color de la piel del tubérculo	(Rs), rosado (R), rojo (A), amarillo
FT	Forma del tubérculo:	(Rd), redonda (Ov), oval (Al), alargada (O), oblonga (Ob), oval-oblonga
PoT	Profundidad de los ojos de los tubérculos:	(S), Superficiales (M), Medios (P), Profundos

Tabla 2. Caracteres cuantitativos evaluados. Descripción, unidad de medición y forma de calcularlos

Caracteres cuantitativos		
NTp	Número de tubérculos por planta (Unidad)	Número de tubérculos en una planta de un cultivar
NP	Número de plantas (Unidad)	Número de plantas evaluadas por cultivar
NTT	Número total de tubérculos (Unidad)	Número de tubérculos en todas las plantas evaluadas de un cultivar $NTT = \sum NtTp_1 + NtTp_2 + \dots NtTp_{20}$
NtTP	Número total de tubérculos por planta (Unidad)	$NtTP = \frac{NTT}{NP}$
MTT	Masa total de los tubérculos (Kg)	Masa total de tubérculos en todas las plantas evaluadas de un cultivar $MTT = \sum MtTp_1 + MtTp_2 + \dots MtTp_{20}$
MpT	Masa promedio de tubérculo (kg)	$MpT = \frac{MTT}{NTT}$
RTpP	Rendimiento total por planta (kg planta ⁻¹)	$RTpP = \frac{MTT}{NP}$
Rha	Rendimiento por hectárea (g ha ⁻¹)	$Rpha = RTpP * 44444 \text{ plantas}$

Considerando la importancia que tiene para el cultivo su comportamiento ante diferentes plagas, fueron evaluados, además, caracteres relacionados con la respuesta de los cultivares a *Streptomyces scabies* (sarna común) y *Alternaria solani* (Ellis y Martín) Jones y Grout (tizón temprano).

La evaluación de la afectación en el follaje por el hongo *Alternaria solani* (Ellis y Martín) Jones y Grout (Tizón temprano) se realizó a los 65 días de la plantación. Para ello se utilizó la escala de nueve grados propuesta por Horsfall y Barrat (11). Sin embargo, la evaluación de *Streptomyces scabies* (sarna común) en el tubérculo se realizó después de la cosecha (3 días), según la escala de seis grados propuesta (12).

Análisis estadístico

Caracteres cualitativos

Para los caracteres cualitativos color de la piel del tubérculo (CpT); forma del tubérculo (FT) y profundidad de los ojos de los tubérculos (PoT) se realizó un análisis de frecuencia, mediante el paquete IBM SPSS versión 21.0 (13), representándose los valores de las mismas para cada ciclo en un gráfico de mosaico con el uso de *Microsoft Excel*.

Caracteres cuantitativos

Para el caso de los caracteres cuantitativos masa promedio de tubérculo (MpT); rendimiento total por planta (RTpP); rendimiento por hectárea (Rha); afectación en el tubérculo por *Streptomyces scabies* (Ss) y afectación en el follaje por *Alternaria solani* (As); a modo de describir la variabilidad existente en estos caracteres en los cultivares evaluados y determinar la existencia o no de diferencias en el comportamiento de los mismos, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor y una prueba de comparación de medias, mediante la Prueba de Student-Newman-Keuls ($p \leq 0,05$), haciendo uso del paquete IBM SPSS versión 21.0 (13).

Análisis de la interacción genotipo ambiente

Para determinar si existía diferencia significativa en el caso de la interacción genotipo- ambiente de los caracteres cuantitativos masa promedio de tubérculo (MpT); rendimiento total por planta (RTpP); rendimiento por hectárea (Rha); afectación en el tubérculo por *Streptomyces scabies* (Ss) y afectación en el follaje por *Alternaria solani* (As); se realizó un análisis de varianza (ANOVA) bifactorial, donde los factores que se tuvieron en cuenta fueron el genotipo y el ambiente (compuesto en este caso por la combinación de las localidades y los años). Para ello se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS 21.

Una vez detectada la presencia de la interacción genotipo- ambiente, se procedió al análisis de estabilidad, utilizando la fórmula (14) que representa el modelo de Efectos Aditivos Principales e Interacciones Multiplicativas (AMMI) y el gráfico Biplot GGE (15,16).

$$AMMI_M : E(y_{ijk}) = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sum_{m=1}^M u_{mi} v_{mj}$$

donde:

μ : media de los valores analizados

α_i : efecto principal para las filas

β_j : efecto principal para las columnas

m : corresponde al valor singular de orden m de Z'Z

u_{mi} : coordenada i-ésima del vector singular de ZZ' asociado a λ_m

v_{mj} : coordenada j-ésima del vector singular de Z'Z asociado a λ_m

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los caracteres cualitativos para la evaluación morfo-agronómica

A partir de los análisis de frecuencia efectuados para los caracteres cualitativos utilizados en la caracterización de los cultivares evaluados, se observó que el color que más abunda para la piel de los tubérculos (CpT); en el caso de estos 16 cultivares, es el amarillo (75 %), mientras los colores rojo y rosado se igualan en un 12,5 % (Figura 1).

Considerando la divergencia en criterios de diversos autores, se considera que los resultados sobre la dominancia del color amarillo pueden deberse a la mayor preferencia de los mejoradores a seleccionar e incluir en sus programas de mejora germoplasma con tubérculos de ese color. Esto puede ser corroborado por los resultados en los programas de mejoramiento en Cuba (15) y otros programas efectuados a nivel mundial (16).

Para el caso de la forma del tubérculo (Figura 2) se conoce que, en la actualidad, el auge de la industria del procesamiento de papa a nivel internacional está demandando variedades con formas redondas para chips y alargadas para bastones (17). Este hecho puede estar determinando que cultivares con forma oblonga ocupen las mayores frecuencias de producción por empresas productoras de semillas del cultivo, para consumo fresco y satisfacer las demandas del mercado. Resultados similares fueron considerados por investigaciones en Italia, a modo de disminuir los costos productivos (18).

Para el caso de la profundidad de los ojos de los tubérculos (Figura 3), los resultados se deben, en mayor medida, a que en los programas de mejoramiento se trata de obtener cultivares con ojos superficiales, con el objetivo de responder al mercado. Se plantea que es un carácter que influye en la calidad final del producto, logrando que el pelado del tubérculo sea más fácil y haya menos pérdida de materia prima, ya sea para el consumo fresco o para procesamiento industrial (19).

Análisis de los caracteres cuantitativos

Al efectuar el Análisis de Varianza para los caracteres cuantitativos de la masa promedio de tubérculo; rendimiento total por planta; rendimiento por hectárea; afectación en el tubérculo por *Streptomyces scabies* y afectación en el follaje por *Alternaria solani*; se observó la existencia de diferencias altamente significativas en el comportamiento de los mismos en todas las evaluaciones efectuadas (Tabla 3).

Al respecto, al comparar las medias para estos caracteres mediante la Prueba de Student-Newman-Keuls (Tabla 4), se observó un comportamiento diferencial entre los cultivares.

Para el caso del carácter masa promedio de tubérculo, los cultivares Burren, Faluka, Santana, Rudolph, Ultra, Electra y Passion mostraron su mejor comportamiento, con valores promedio que oscilaban entre 0,106 y 0,116 kg.

Sin embargo, para los caracteres rendimiento total por planta y rendimiento por hectárea, el cultivar Rudolph mostró los mayores valores (0,7767 kg planta⁻¹ y 34,52 kg ha⁻¹ respectivamente). Sin embargo, el cultivar Melanto mostró los menores valores para estos caracteres (0,356 Kg planta⁻¹ y 15,95 kg ha⁻¹), así como las mayores afectaciones en el tubérculo por *Streptomyces scabies* y en el follaje por *Alternaria solani*. El resto de los cultivares mostró valores diferenciales para estos caracteres evaluados.

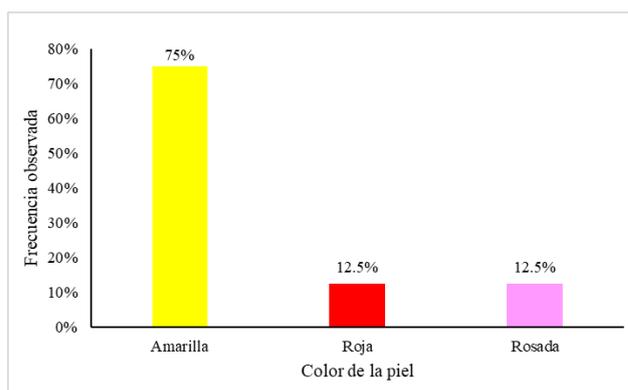


Figura 1. Representación gráfica de las frecuencias observadas para el carácter cualitativo color de la piel del tubérculo (CpT) en los cultivares analizados

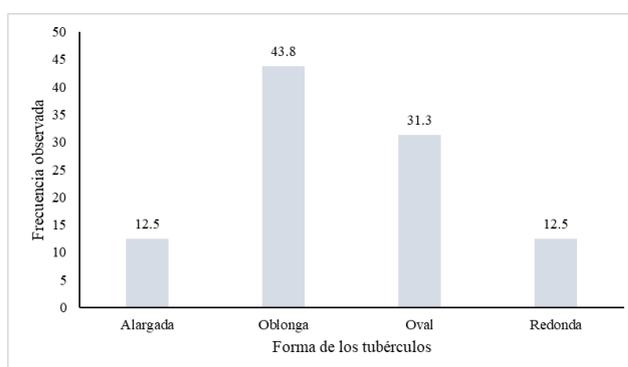


Figura 2. Representación gráfica de las frecuencias observadas para el carácter cualitativo forma del tubérculo (FT) en los cultivares analizados

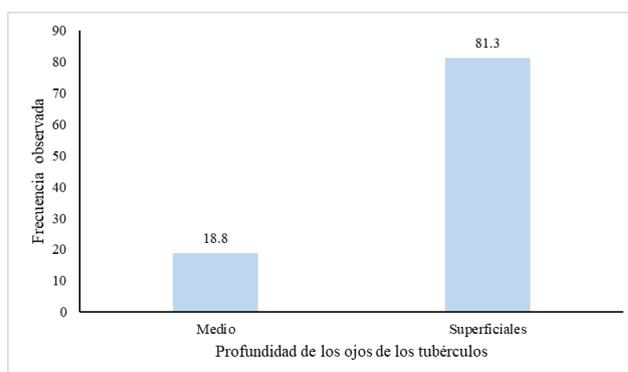


Figura 3. Representación gráfica de las frecuencias observadas para el carácter cualitativo profundidad de los ojos de los tubérculos (PoT) en los cultivares analizados

Análisis de la interacción genotipo ambiente

A partir de los análisis de varianza (ANOVA) bifactoriales efectuados para los caracteres cuantitativos estudiados, se observó diferencias significativas para las medias, en cada una de las variables cuantitativas analizadas, con los ambientes en los que los cultivares fueron sembrados (Tabla 5).

Tabla 3. Análisis de Varianza de un factor para los caracteres cuantitativos evaluados

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
MpT	Inter-grupos	,068	15	,005	5,192	,000
	Intra-grupos	,239	272	,001		
	Total	,307	287			
RTpP	Inter-grupos	4,325	15	,288	11,140	,000
	Intra-grupos	7,039	272	,026		
	Total	11,364	287			
Rha	Inter-grupos	8541,755	15	569,450	11,141	,000
	Intra-grupos	13903,095	272	51,114		
	Total	22444,850	287			
As	Inter-grupos	114,986	15	7,666	6,683	,000
	Intra-grupos	312,000	272	1,147		
	Total	426,986	287			
Ss	Inter-grupos	57,691	15	3,846	6,647	,000
	Intra-grupos	157,389	272	,579		
	Total	215,080	287			

($p \leq 0,05$)

Masa promedio de tubérculo -MpT-; rendimiento total por planta -RTpP-; rendimiento por hectárea -Rha-; afectación en el follaje por *Alternaria solani* -As- y afectación en el tubérculo por *Streptomyces scabies* -Ss-

Tabla 4. Prueba de Student-Newman-Keuls de comparación de medias para los caracteres cuantitativos evaluados

	Nombre del cultivar	MpT (kg)	RTpP	Rha	Ss	As
1	Melanto	0,065c	,3589g	15,95g	2,72a	5,11a
2	Burren	0,108a	,5789cde	25,73cde	1,67cd	3,28cde
3	Faluka	0,111a	,7456ab	33,14ab	1,50cd	3,00e
4	Panamera	0,087abc	,4444defg	19,75efg	1,28d	3,72bcde
5	Santana	0,113a	,6633abc	29,48abc	1,89bcd	3,89bcde
6	Rudolph	0,110a	,7767a	34,52a	1,44d	4,33abc
7	Ultra	0,109a	,6961abc	30,94abc	1,28d	3,72bcde
8	Diroso	0,088abc	,4461defg	19,83efg	1,83bcd	3,33cde
9	Zinared	0,091abc	,5344cdef	23,75def	1,11d	3,28cde
10	Spunta	0,100ab	,5706cde	25,36 cde	1,67cd	3,50cde
11	Taisiya	0,092abc	,6294abc	27,98abc	1,56cd	3,61cde
12	Romano	0,071bc	,4283efg	19,04efg	1,17d	4,22abcd
13	Electra	0,116a	,6783abc	30,15abc	1,67cd	3,11de
14	Passion	0,106a	,5978bcd	26,57bcd	1,83bcd	4,11abcde
15	Barna	0,094abc	,5611cde	24,94 cde	2,50ab	4,94a
16	La Perla	0,074bc	,4000fg	17,78fg	2,28abc	4,72ab

Medias con letras iguales no difieren entre sí ($p=0,05$)

Masa promedio de tubérculo -MpT-, rendimiento total por planta -RTpP-, rendimiento por hectárea -Rha-, afectación en el tubérculo por *Streptomyces scabies* -Ss- y afectación en el follaje por *Alternaria solani* -As-

Partiendo de los caracteres cuantitativos que mostraron interacción con el ambiente, se procedió a efectuar el análisis de estabilidad utilizando el modelo AMMI y el gráfico Biplot. Al respecto, considerando la estructura de correlación positiva entre los caracteres rendimiento total por planta y rendimiento por hectárea, el modelo AMMI sólo fue realizado para el carácter rendimiento total por planta (Figura 4).

En estudios similares mediante el modelo AMMI, afirman que mientras más cercanos se localizan los genotipos al centro de la gráfica, menos responden a las variaciones ambientales y, por ende, son los más estables (20,21). Entre tanto, los más alejados del centro son considerados

los que más aportan a la interacción; o sea, los que más responden a los estímulos ambientales de forma diferencial.

Por tal motivo, otros autores que han efectuado estudios en este mismo cultivo (papa), consideran que esta técnica es de utilidad para el mejoramiento genético, ya que permite conocer la estabilidad de los genotipos, de acuerdo con la proximidad al origen de coordenadas, así como los genotipos responsables de la interacción significativa (22-24). Por otra parte, se dice que los genotipos más estables, es decir, los que muestran bajos valores de los marcadores en la CP1, poseen medias altas para los caracteres en cuestión (25).

Tabla 5. Análisis Bifactorial (ANOVA) de la interacción genotipo ambiente para los caracteres cuantitativos evaluados

	Suma de cuadrados	df	Cuadrado Medio	F	Sig.
Masa promedio de tubérculo -MpT- (kg)					
Genotipo	,068	15	,005	7,238	,000
Ambiente	,006	5	,001	1,857	,104
Genotipo * Ambiente	,118	75	,002	2,502	,000
Réplica (Ambiente)	,001	12	,000	,192	,999
Error	,113	180	,001		
Total	2,958	288			
Total Corregido	,307	287			
Rendimiento total por planta -RTpP- (kg planta ⁻¹)					
Genotipo	4,325	15	,288	46,158	,000
Ambiente	,037	5	,007	1,191	,315
Genotipo * Ambiente	5,780	75	,077	12,339	,000
Réplica (Ambiente)	,097	12	,008	1,300	,222
Error	1,124	180	,006		
Total	104,730	288			
Total Corregido	11,364	287			
Rendimiento por hectárea -Rha- (kg ha ⁻¹)					
Genotipo	8541,755	15	569,450	46,154	,000
Ambiente	73,431	5	14,686	1,190	,316
Genotipo * Ambiente	11416,145	75	152,215	12,337	,000
Réplica (Ambiente)	192,678	12	16,056	1,301	,221
Error	2220,841	180	12,338		
Total	206873,257	288			
Total Corregido	22444,850	287			
Afectación en el follaje por <i>Alternaria solani</i> (As)					
Genotipo	114,986	15	7,666	9,818	,000
Ambiente	2,486	5	,497	,637	,672
Genotipo * Ambiente	150,847	75	2,011	2,576	,000
Réplica (Ambiente)	18,125	12	1,510	1,934	,033
Error	140,542	180	,781		
Total	4736,000	288			
Total Corregido	426,986	287			
Afectación en el tubérculo por <i>Streptomyces scabies</i> (Ss)					
Genotipo	57,691	15	3,846	7,639	,000
Ambiente	4,601	5	,920	1,828	,110
Genotipo * Ambiente	58,122	75	,775	1,539	,011
Réplica (Ambiente)	4,042	12	,337	,669	,780
Error	90,625	180	,503		
Total	1059,000	288			
Total corregido	215,080	287			

a. R²= ,901 (R² ajustada= ,842)

(p≤0,05)

Masa promedio de tubérculo (MpT), rendimiento total por planta (RTpP), rendimiento por hectárea (Rha), afectación en el follaje por *Alternaria solani* (As) y afectación en el tubérculo por *Streptomyces scabies* (Ss)

A partir de un estudio desarrollado en diferentes cruces de papa, algunos autores consideran que este hecho de estabilidad, que pueden estar presentes, independientemente del programa de mejora que les da origen (polinización libre, híbridos) (24).

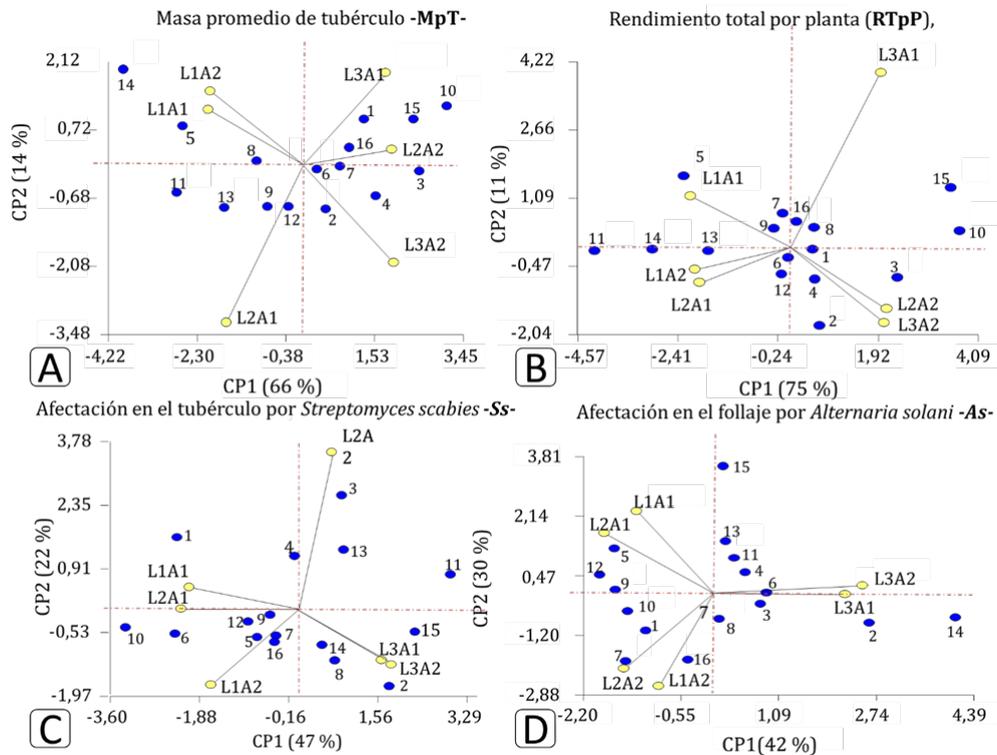


Figura 4. Representación gráfica del modelo AMMI de la interacción genotipo ambiente para los caracteres cuantitativos masa promedio del tubérculo -MpT-(A), rendimiento total por planta -RTpP-(B), afectación en el tubérculo por *Streptomyces scabies* -Ss-(C) y *Alternaria solani* -dAs- (D), en los cultivares analizados. [1- Melanto; 2- Burren; 3- Faluka; 4- Panamera; 5- Santana; 6- Rudolph; 7- Ultra; 8- Dirosso; 9- Zinared; 10- Spunta; 11- Taisiya; 12- Romano; 13- Electra; 14- Passion; 15- Barna; 16- La Perla] [(L_nA_n: Efectos de la Interacción Localidad x Año; L1: Área experimental de la Finca “Las Papas”, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), municipio de San José de Las Lajas, provincia Mayabeque; L2: Empresa Agropecuaria “Máximo Gómez”, municipio Perico, provincia Matanzas; L3: Empresa de Cultivos Varios “La Cuba”, municipio Ciego Ávila, provincia Ciego de Ávila; A1: 2015-2016; A2: 2016-2017]

CONCLUSIONES

- Existe diversidad de color, forma y profundidad de los ojos en los tubérculos de los 16 cultivares de papa estudiados.
- Se presenta un comportamiento diferencial entre los cultivares de papa para el rendimiento y la masa promedio de los tubérculos.
- Los cultivares Burren, Rudolph, Ultra, Dirosso, Zinared, Romano y La Perla son los más estables y con mejor adaptación general para la masa promedio en los seis ambientes estudiados, mientras que Passion, Santana, Panamera, Faluka, Barna y Spunta, expresan adaptación específica para cada ambiente.
- Los cultivares Melanto, Dirosso, La Perla, Ultra, Zinared, Rudolph, Romano y Panamera tienen mejor adaptación general en los ambientes estudiados para el rendimiento total por planta.
- Los cultivares Faluka, Electra, Zinared, Burren, Dirosso son los menos afectados en su follaje (< 3,5 grados) por el hongo *Alternaria solani*.

- Los cultivares Zinared, Romano, Ultra y Panamera son los menos afectados en los tubérculos por *Streptomyces scabies* (< 1,2 grados).

BIBLIOGRAFÍA

1. Ortega Ruiz DE. Evaluación del comportamiento agronómico de genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) con altos contenidos de hierro y zinc en dos localidades de la sierra Ecuatoriana. [Internet] [Tesis de Diploma]. [Ecuador]: Universidad Central del Ecuador; 2014. Available from: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2862>
2. Morales Garzón FJ. Sociedades precolombinas asociadas a la domesticación y cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en Sudamérica. Revista Latinoamericana de la papa. 2007;14(1):1-9.
3. Estrada N. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. Plural editores; 2000. 376 p.
4. Gabriel J. Documento marco: Estrategias y perspectivas del mejoramiento genético de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos.; 2010.

5. FAOSTAT [Internet]. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2020 [cited 06/04/2021]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
6. Pérez Vázquez A, Leyva Trinidad DA, Gómez Merino FC, Pérez Vázquez A, Leyva Trinidad DA, Gómez Merino FC. Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. Revista mexicana de ciencias agrícolas. 2018;9(1):175-89. doi: [10.29312/remexca.v9i1.857](https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.857)
7. MINAG. Instructivo técnico para la producción de papa en Cuba. MINAG; 2017 p. 61.
8. Arreola I. Interacción genotipo-ambiente en melón (*Cucumis melo* L.) para características fisiológicas, rendimiento y calidad de fruto. [Internet] [Tesis de Diploma]. [México]: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; 2016. 67 p. Available from: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/8063>
9. Comina P, Rivadeneira Ruales JE, Cuesta Subía HX. Estudio de la interacción genotipo por ambiente en papa para resistencia a tizón tardío y contenidos de Fe y Zn. En: VII Congreso Ecuatoriano de la Papa [Internet]. Tulcán: CIP/INIAP; 2017 [cited 07/04/2021]. Available from: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4434>
10. Huamán Z. Descriptores morfológicos de la papa (*Solanum tuberosum* L.). España: Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife; 2008.
11. Salomón JL, Castillo JG, Estévez A, Arzuaga J, Ortiz Ú, Caballero A, et al. Evaluación de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.) para caracteres reproductivos y agronómicos. Cultivos Tropicales. 2010;31(2):77-81.
12. Beukema HP, Peeten JM, Turkensteen LJ. Potato explorer: production, seed, varieties, diseases, storage, markets. NIVAP; 2004. Report No.: 635.217/B566.
13. Gray CD, Kinnear PR. IBM SPSS Statistics 19 Made Simple. Psychology Press; 2012. 688 p.
14. Varela M, Castillo JG. Modelos con término multiplicativo. Aplicación en el análisis de la interacción genotipo ambiente. Cultivos Tropicales. 2005;26(3):71-5.
15. Salomón Díaz JL, Castillo Hernández JG, Arzuaga Sánchez JA, Torres de la Noval W, Caballero Núñez A, Edison R. Evaluación morfoagronómica de progenies de semilla botánica de papa (*Solanum tuberosum*, L.) en Cuba. Cultivos tropicales. 2014;35(1):75-84.
16. Vásquez Arce V, Huerta Fernández P, Cabrera Hoyos H, Jiménez Díaz L. Genotype-environment interaction in potato genotype yield. Revista Mexicana Ciencias Agrícolas. 2021;12(2):175-82.
17. Ortiz R, Golmirzaie AM. Genetic parameters for agronomic characteristics. I. Early and intermediate breeding populations of true potato seed. Hereditas. 2003;139(3):212-6. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.2003.01734.x>
18. Menesatti P, Costa C, Paglia G, Pallottino F, D'Andrea S, Rimatori V, et al. Shape-based methodology for multivariate discrimination among Italian hazelnut cultivars. Biosystems Engineering. 2008;101(4):417-24. doi: [10.1016/j.biosystemseng.2008.09.013](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.09.013)
19. Castillo JG, Estévez A, González ME, Salomón JL. Grettel, una nueva variedad cubana de papa para el consumo fresco e industrial. Cultivos Tropicales. 2006;27(2):63-4.
20. Vásquez V, Cabrera H, Jiménez LA, Colunche A. Estabilidad del rendimiento de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.). Ecología Aplicada. 2019;18(1):59-65.
21. Mohammadi M, Hosseinpour T, Armion M, Khanzadeh H, Ghoghogh H. Analysis of genotype, environment and genotype × environment interaction in bread wheat genotypes using GGE biplot. Agricultural Communications. 2016;4(3):1-8.
22. Salomón JL, Castillo JG, Arzuaga JA, Torres W, Caballero A, Varela M, et al. Análisis de la interacción progenie-ambiente con minitubérculos a partir de semilla sexual de papa (*Solanum tuberosum*, L.) en Cuba. Cultivos Tropicales. 2015;36(2):83-9.
23. Tirado-Lara R, Tirado-Malaver R, Mayta-Huatuco E, Amoros-Briones W. Identificación de clones de papa con pulpa pigmentada de alto rendimiento comercial y mejor calidad de fritura: Estabilidad y análisis multivariado de la interacción genotipo-ambiente. Scientia Agropecuaria. 2020;11(3):323-34.
24. Maharana J, Panda CM, Jakhar P. Genotype × Environment Interaction and Stability Analysis of Kharif Potato in Koraput Region of Odisha, India. 2017 [cited 07/04/2021]; Available from: <http://krishi.icar.gov.in/jspui/handle/123456789/36882>
25. Tamayo Isaac M, Puchades Izaguirre Y, Rodríguez Gross R, González Hernández R, Suárez HJ, Alfonso Terry I, et al. Modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa aplicado a la evaluación de la roya parda de la caña de azúcar. Fitosanidad. 2012;16(3):129-35.