

Evaluación, Selección y Caracterización de Genotipos de Papa Tolerantes al Síndrome de Punta Morada

Evaluation, Selection and Characterization of Potato Genotypes Tolerant to Purple Top Syndrome

Víctor Manuel Parga Torres, Campo Experimental Saltillo, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CES-INIFAP), Blvd. Vito Alessio Robles, No. 2565, Col. Nazario Ortiz Garza, Saltillo, Coah., CP 25100, México; **Víctor Manuel Zamora Villa**, **Fernando Borrego Escalante**, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Buenavista, Saltillo, Coah., CP 25315, México; **Juan Manuel Covarrubias Ramírez**, CES-INIFAP; **Alfonso López Benítez**, UAAAN; **Isidro Humberto Almeyda León**, Campo Experimental General Terán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Carr. Montemorelos-China km. 31, General Terán, N.L., CP 67400, México. Correspondencia: halmeyda30@hotmail.com

(Recibido: Junio 14, 2010 Aceptado: Octubre 23, 2010)

Parga Torres, V. M., Zamora Villa, V. M., Borrego Escalante, F., Covarrubias Ramírez, J. M., López Benítez, A. y Almeyda León, I. H. 2011. Evaluación, Selección y Caracterización de Genotipos de Papa Tolerantes al Síndrome de Punta Morada. *Revista Mexicana de Fitopatología* 29:15-24.

Resumen. En el Noreste de México, la reducción del rendimiento comercial de papa debido al síndrome de la punta morada puede alcanzar hasta 90% y en ocasiones, debido al manchado interno de los tubérculos las pérdidas pueden ser totales. En Arteaga, Coah., México, durante el año 2006 se establecieron 214 genotipos con el objetivo de evaluarlos y caracterizarlos por su tolerancia al síndrome, y seleccionar aquellos que mostraran tolerancia cuando no se llevara a efecto el control de vectores. Los parámetros evaluados fueron; altura, cobertura del follaje, días a inicio de síntomas, días a muerte de la planta, inicio de síntomas a muerte de la planta, producción total de tubérculo por planta, número de tubérculos por planta, número de tubérculos con manchado interno por planta y brotación, que se analizaron mediante métodos estadísticos multivariados. Los primeros tres componentes principales explicaron el 76.8% de la varianza total, separando en primera instancia los genotipos productores de los no productores y en segunda a los más tardíos, con mayor cobertura y menor brote de hilo de aquellos con características opuestas. El análisis de conglomerados identificó tres grupos, el primero con 114 genotipos que no produjeron tubérculos, que presentaron más temprano los primeros síntomas y murieron. El segundo grupo, con 53 genotipos de mayor tolerancia, en el que se obtuvo la mayor media de producción de tubérculo por planta.

Parga Torres, V. M., Zamora Villa, V. M., Borrego Escalante, F., Covarrubias Ramírez, J. M., López Benítez, A. and Almeyda León, I. H. 2011. Evaluation, Selection and Characterization of Potato Genotypes Tolerant to Purple Top Syndrome. *Revista Mexicana de Fitopatología* 29:15-24.

Abstract. Potato commercial yield reduction due to purple top syndrome in northeastern Mexico can reach up to 90% and sometimes losses can be total due to internal staining of the tubercles. A total of 214 genotypes were established during 2006 in Arteaga, Coah., Mexico, in order to evaluate and characterize their tolerance to the syndrome, and select those that had tolerance revealed as no vectors control were performed. The evaluated parameters were: height, foliage coverage, days to onset symptoms, days to plant death, onset of symptoms to death of the plant, total production of tubercles per plant, number of tubercles with internal staining per plant and sprouting of the plant, which were analyzed by multivariate statistical methods. The first three main components explained 76.8% of the total variance, separating first the producing genotypes from those non-producing; and second, the later with a higher coverage and lower thread outbreak from those with opposite characteristics. A total of three groups were identified by the cluster analysis: the first with 114 genotypes that did not produce tubercles, which had the symptoms revealed earlier and died. The second group, with 53 genotypes of greater tolerance, which had the highest average yield of tubercles per plant. The third with 47 genotypes, which had late manifestation of onset symptoms, had a wider range to wilt and a low production. The presence of bacteria, viruses and phytoplasma was detected in the

El tercero con 47 genotipos, presentó tardíamente los primeros síntomas, tuvo el intervalo más amplio a marchitez y baja producción. En los tubérculos se detectó la presencia de bacterias, virus y fitoplasmas. Los genotipos: Gigant, Alpha, Norteña, Bayonera, Nieder, Atlantic y los clones 91-29-10, 98-14-01, 94-02-01 y 96-01-01, fueron seleccionados con base en su producción o por no presentar manchado interno de tubérculo, aún y cuando no se controlaron los vectores.

Palabras clave adicionales: *Solanum tuberosum*, punta morada, producción, características agronómicas.

En México, la papa *Solanum tuberosum* L., es un cultivo importante debido a la derrama económica que genera, ya que representa el 1% del Producto Interno Bruto Total y el 2.6% del Producto Agropecuario del país (ITESM, 2003). Durante el año 2007, se sembraron 64,000 ha de papa, con una producción total de 1.7×10^6 t y un rendimiento promedio de 27.7 t ha^{-1} (SIAP, 2010). En los países en desarrollo, el consumo de papa por persona aumentó de 10 kg (1961–1963) a 21.5 kg en 2003; sin embargo, sigue siendo bajo en comparación con el de los países desarrollados, cuyo consumo promedio anual es de 93 kg por persona (Bayer, 2008). Debido al auge en el consumo de comidas rápidas y de papa frita (hojuela) al inicio de la década de los 90's, se introdujeron a México variedades con características de calidad adecuadas para la industria; sin embargo, las variedades introducidas muestran alta susceptibilidad a las principales enfermedades (tizón tardío, tizón temprano, enfermedades de la raíz, virosis, etc.) que afectan este cultivo (Parga, 2008). Recientemente, el síndrome de la punta morada fue considerado el principal problema fitopatológico para la producción de papa en la región noreste de México; éste es ocasionado por diferentes factores bióticos o abióticos, entre los primeros se encuentran los fitoplasmas (Maramorosch, 1988), virus (Salazar, 1995), hongos (Garza, 1999) y recientemente la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum*, patógeno que causa enfermedades en especies de la familia solanaceae, como el tomate *Solanum lycopersicum* L. y la papa; esta bacteria es transmitida por el psílido *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hansen *et al.*, 2008). Entre los factores abióticos se encuentran las deficiencias de nutrición (Rubio, 1998) y la alta temperatura y sequía (Davis, 1998). A finales de la década de los 90's, en el noreste de México, se reportaron pérdidas del 35% en la calidad del producto, destinado tanto al mercado fresco como a la industria por el manchado interno del tubérculo debido al síndrome de la punta morada (Parga, 2000). En el ciclo agrícola 2004, los daños por punta morada provocaron más del 50% de pérdidas en producción y hasta el 100% en calidad (Flores *et al.*, 2008). En la actualidad, para producir papa en el Noreste de México, se requieren de 30 a 50 aplicaciones de insecticidas para el control de los principales virus y fitoplasmas. El uso intensivo de los agroquímicos representa hasta el 35% del costo del cultivo. Lo anterior es preocupante por el riesgo que representa para los productores, trabajadores consumidores y el ecosistema (Parga, 2008). Por

tuber. The genotypes Gigant, Alpha, Norteña, Bayonera, Nieder, Atlantic and the clones 91-29-10, 98-14-01, 94-02-01 and 96-01-01 were selected based on their production or the absence of internal staining, even if the vectors were not controlled.

Additional keywords: *Solanum tuberosum*, purple top, production, agronomical characteristics.

The potato *Solanum tuberosum* L., is an important crop in Mexico because of the economic income generated by it, as it represents 1% of the total GDP and 2.6% of the agricultural production nationwide (ITESM, 2003). A total of 64,000 ha of potato were planted in 2007, with a total production of 1.7×10^6 t and an average yield of 27.7 t ha^{-1} (SIAP, 2010). Potato consumption per capita in developing countries increased from 10 kg (1961–1963) to 21.5 kg in 2003; however, it remains low if compared to developed countries where the average annual consumption flake is 93 kg per capita (Bayer, 2008). Due to the rise in fast food and fried potatoes consumption at the beginning of the 90's, varieties with quality characteristics suitable for the industry were introduced to Mexico; nevertheless, a high susceptibility to major diseases of the crop (late blight, early blight, root diseases, viruses, etc.) is detected on the introduced varieties, (Parga, 2008). Recently, the purple top syndrome was considered the main phytopathological problem for potato production in the northeastern region of Mexico; it is caused by different biotic or abiotic factors. Among the first are the phytoplasma (Maramorosch, 1988), virus (Salazar, 1995), fungi (Garza, 1999) and recently the bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum*, the pathogen that causes diseases in species of the solanaceae family, including the tomato *Solanum lycopersicum* L. and potatoes. This bacterium is transmitted by the psilido *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hansen *et al.*, 2008). Among the abiotic factors are nutritional deficiencies (Rubio, 1998), the high temperature and drought (Davis, 1998). A total of 35% loss in product quality by the tuber internal staining due to the tip syndrome dwelling was reported in northeastern Mexico in the late 90's (Parga, 2000). Purple top damage caused a 50% loss in production and up to 100% quality loss during the 2004 agricultural cycle (Flores *et al.*, 2008). Currently, 30 to 50 insecticide applications are required in order to produce potato in northeastern Mexico for control of the major viruses and phytoplasma. The intensive use of agrochemicals represents up to 35% of the cultivation cost. This is worrisome because of the risk for farmers, workers, consumers and the ecosystem (Parga, 2008). The main objective of the potato breeding program, of potato genetic improvement in Mexico is aimed to generate germplasm resistant to potato late blight (*Phytophthora infestans*) in which it is a world leader. Resistance sources detection and determination against the purple top syndrome are currently being performed due to the increasing purple top issue (Rivera, 2008).

The commercial varieties used in Mexico have a close relationship, ranging from 0.062 to 0.125 inbreeding since

otra parte el principal objetivo que tiene el programa de mejoramiento genético de la papa en nuestro país, es la generación de germoplasma con resistencia al tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*); este programa es líder a nivel mundial. Debido al incremento del problema de punta morada actualmente se están realizando evaluaciones para determinar y detectar fuentes de resistencias contra el síndrome de la punta morada (Rivera, 2008).

Las variedades comerciales utilizadas en México, tienen un parentesco cercano, con un intervalo de endogamia de 0.062 a 0.125, ya que provienen principalmente de Holanda. Los cultivares multiplicados en Europa están estrechamente interrelacionados ya que no se ha hecho mayor esfuerzo técnico importante encaminado a ampliar su base genética. Es conocido que cuando se usan estos cultivares en el mejoramiento genético la progenie resultante tendrá algún grado de endogamia debido al parentesco entre sus progenitores, lo que podrá reducir su rendimiento y estabilidad (Estrada, 1999), esta situación ha ocasionado fuerte dependencia hacia el uso de agroquímicos, debido a la falta de resistencia a las enfermedades y a la falta de adaptación de los cultivares a las condiciones adversas (Spiertz *et al.*, 1996). La sociedad actual demanda que la producción agrícola sea inocua para el humano y el ambiente, debido a lo cual se requiere seleccionar genotipos con tolerancia que coadyuven en la reducción del uso de agroquímicos, por lo que es necesario que genetistas y mejoradores estudien las características de tolerancia y sus múltiples relaciones para su comprensión y hacer más eficiente el proceso de mejoramiento por resistencia múltiple al síndrome de la punta morada. Los métodos multivariados constituyen una herramienta que permite identificar las relaciones entre variables, agrupar y caracterizar genotipos, ofreciendo al fitomejorador una guía más objetiva en la selección (Ye *et al.*, 2001). El objetivo de este estudio fue: evaluar y caracterizar preliminarmente genotipos de papa tolerantes al síndrome de la punta morada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el ciclo primavera-verano 2006, se evaluaron 214 genotipos bajo condiciones de riego en el Campo Experimental Saltillo ubicado en el Ejido Emiliano Zapata, municipio de Arteaga, Coah. México, que se localiza a 25° 14' LN y 100° 35' LO, a una altitud de 2200 msnm. El clima es templado subhúmedo con precipitaciones todo el año (García, 1988). El germoplasma provino del Programa Nacional de Papa de México (INIFAP) con 200 genotipos; del Programa Nacional de Cuba (Cubanita e Ibis); Estados Unidos de Norteamérica (FL-1867, Russet Burbank, Early Valley y Atlantic) y Holanda (Gigant, Vivaldi, Felsina, Granola, Escort, Platina, Liseta y Alpha). Se utilizaron mini-tubérculos provenientes de invernadero para asegurar el uso de semilla libre de virus y bacteria, lo cual fue corroborado mediante análisis ELISA y PCR. Se estableció un tubérculo por genotipo, debido a que los clones están en proceso de formación (etapas tempranas de evaluación) y por lo tanto no se dispuso de semilla-tubérculo suficiente para evaluar en mayor cantidad. Cada tubérculo-semilla se colocó a 20 cm

they come mainly from Holland. The cultivars multiplied in Europe are closely interrelated due to the fact that a major technical effort aimed to expand its genetic basis, has not been performed yet. It is commonly known that when these cultivars are used in breeding the resulting offspring will have some degree of inbreeding because of the relationship between their parents, which may reduce both performance and stability (Estrada, 1999). This situation has caused strong dependence on the use of agrochemicals, due to the lack of both, resistance to disease and cultivars adapted to adverse conditions (Spiertz *et al.*, 1996). Nowadays, society demands that the agricultural production is safe for humans and the environment, requiring selecting genotypes with tolerance that contribute to a reduced use of chemicals, thus. Therefore, it is necessary that geneticists and breeders study the characteristics of tolerance and its multiple relationships for their understanding and improvement of the breeding process aimed to the multiple resistance to the purple top syndrome. Multivariate methods are a tool to identify relationships between variables, group and characterize genotypes, giving the breeder a more objective guide in the selection (Ye *et al.*, 2001). The present study is aimed to evaluate and characterize preliminary potato genotypes tolerant to purple top syndrome.

MATERIALS AND METHODS

A total of 214 genotypes were evaluated under irrigated conditions during the Spring-Summer cycle 2006 at the Saltillo Experimental Field, located in the Ejido Emiliano Zapata, municipality of Arteaga, Coah., Mexico, which is located at 25° 14' LN and 100° 35' LW, at an altitude of 2200 msnm. The weather is temperate humid with rainfall throughout the year (García, 1988). The germoplasm came from the National Potato Program in Mexico (INIFAP) with 200 genotypes; from the Cuba National Program (Cubanita and Ibis); from the USA (FL-1867, Russet Burbank, Early Valley and Atlantic) and Holland (Gigant, Vivaldi, Felsina, Granola, Escort, Platina, Liseta and Alpha). Greenhouse mini-tubercles were used to ensure the use of seed free of viruses and bacteria, which was confirmed by both ELISA and PCR analysis.

A tuber per genotype was established because the clones are in a training process (early evaluation stages), thus a sufficient seed-tuber was not available to have it fully evaluated. Each tubercle was placed at 29 cm among plants and 92 cm among rows. The presence of the following vectors in the plot was weekly monitored during the development of the crop: Paratuberculosis (*Bactericera cockerelli* Sulc), aphids (*Myzus* spp) and leafhoppers (*Empoasca* spp), by using yellow sticky traps that were placed oriented from north to south at the height of the apex of the plant (Zavala-Quintana, 2002). Insecticide applications were not performed from the emergency period to refloat; preventive fungicide applications for late blight were performed on a weekly basis after emergence. The crop management was done in accordance with the recommendations of the Saltillo Experimental Field (Parga *et al.*, 2005). The variables evaluated were: plant height (PH; cm) from the soil surface to the apex at the time of refloat or plant death. Coverage of the

entre planta y 92 cm entre surcos. Durante el desarrollo del cultivo se monitoreó semanalmente la presencia de los vectores en la parcela: paratíroza (*Bactericera cockerelli* Sulc), pulgones (*Myzus* spp) y chicharritas (*Empoasca* spp), mediante trampas amarillas pegajosas que se colocaron orientadas de norte a sur, a la altura del ápice de la planta (Zavala-Quintana, 2002). Entre el período de emergencia a desvare no se realizaron aplicaciones de insecticidas y las aplicaciones de fungicidas preventivos para el tizón tardío, se realizaron semanalmente después de emergencia. El manejo del cultivo se realizó de acuerdo con las recomendaciones del Campo Experimental Saltillo (Parga *et al.*, 2005). Las variables evaluadas fueron: Altura de Planta (AP; cm), desde la superficie del suelo hasta el ápice al momento del desvare o muerte de la planta. La Cobertura de la planta (COB; cm); se consideró el diámetro del follaje de la planta a los 80 días después de emergencia o a la muerte de planta. Días a Inicio de Síntomas (DIS); consideró los días desde la emergencia hasta la aparición de los primeros síntomas del síndrome de punta morada (decoloración o enrollamiento de las hojas). Días a Muerte de Planta (DMP); días transcurridos desde la emergencia hasta la muerte de la planta. Inicio de Síntomas a Muerte de planta (ISM); días transcurridos que se observaron los primeros síntomas hasta que ocurrió la muerte de la planta. Producción total por planta (PT) expresada en g/planta. Número de Tubérculos por planta (NT) y Manchado Interno del Tubérculo (MIT); para estas variables se contabilizó el número de tubérculos por planta, de los cuales aleatoriamente tres fueron partidos para evaluar el porcentaje de manchado o pardeamiento interno y se expresó en porcentaje. De aquellos genotipos que produjeron mayor número de tubérculos, Brotación (B); los tubérculos sobrantes se almacenaron por seis meses con el objeto de evaluar la presencia de Brote de Hilo (BH) y la falta de brotación o Sin Brotes (SB) (Cadena-Hinojosa *et al.*, 2003).

Con el objeto de determinar la incidencia poblacional de fitoplasmas, virus y bacterias en el lote de evaluación se colectó al azar un tubérculo de cada uno de los 35 genotipos que produjeron tubérculos y se enviaron para su análisis al Laboratorio de diagnóstico Fitopatológico del Campo Experimental Valle de Culiacán del INIFAP. La detección de fitoplasmas y bacteria (*Xilella fastidiosa* Wells), fue mediante la técnica de la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) (Almeyda-León *et al.*, 2001, Martínez-Soriano *et al.*, 1999). Para detectar a los virus PLRV y PVY se utilizó la técnica de ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) (Salazar, 1995). Con el fin de analizar los datos poblacionales, reducir la dimensionalidad de los datos, establecer la relación entre las variables y agrupar individuos semejantes (Manly, 1986; Johnson y Wichern, 1988), se utilizó la técnica de Análisis de Componentes Principales (ACP) y un Análisis de Conglomerados (AC).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Solamente el 46.7% de los genotipos evaluados produjo tubérculos; el resto presentó los síntomas característicos del síndrome de la punta morada y murió sin llegar a producción. El análisis de componentes principales

plant (COV; cm); considered the foliage diameter of the plant at 80 days after emergence or plant death. Days to Onset of Symptoms (DOS); considered the days from emergence to the onset of purple top symptoms (discoloration or leaf curl). Plant Days to Death (PDD); days from emergence to death of the plant. Symptoms Onset to Death of plant (SOD); days that were observed after the first symptoms until death occurred in the plant. Total Yield per plant (TY) expressed in g/plant. Tubercle Number per plant (TN) and Tubercle Internal Staining (TIS); the number of tubercles per plant were accounted for these variables, out of which three were randomly separated aiming to evaluate the staining percentage or internal browning being expressed in percentage. Genotypes that produced the highest number of tubercles, Sprouting (S); the remaining tubercles were stored for six months in order to assess the presence of Hilo Outbreak (HO) and the lack of sprouting or Without Outbreak (WO) (Cadena-Hinojosa *et al.*, 2003).

A tubercle was collected at random in the evaluation batch from each of the 35 genotypes that produced tubercles, aiming to determine population incidence of phytoplasma, viruses and bacteria, and sent for analysis afterwards to the Phytopathological Diagnostic Laboratory from the Valle de Culiacán Experimental Field INIFAP. The phytoplasma and bacteria detection (*Xilella fastidiosa* Wells), was performed throughout the polymerase chain reaction (PCR) (Almeyda-León *et al.*, 2001, Martínez-Soriano *et al.*, 1999). The Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA) technique was used to detect the PLRV and PVY viruses (Salazar, 1995). The technique of Principal Component Analysis (PCA) and a Cluster Analysis (CA) were used in order to analyze the population data, reduce data dimensionality, and establish the relationship among the variables and grouping of similar individuals (Manly, 1986; Johnson and Wichern, 1988).

RESULTS AND DISCUSSION

Only 46.7% of the evaluated genotypes produced tubercle; the rest had the characteristic symptoms of purple top syndrome and died before reaching production. The principal component analysis (PCA) explained 76.8% of the total variance in the first three principal components (Table 1). The first component contained 40.59% of such variance, indicating a positive association among all the variables studied; characteristics such as onset of first symptoms and days to death, yield per plant and number of tubercles per plant with values above 0.7 were highlighted in this CP1; thus it can be called "component production or tolerance" as reveals a tendency to separate the producing genotypes from the non-producers (Figure 1).

The negative association between days to onset of first symptoms (OFS), days to death (DDP) and coverage (COV) was explained by the second principal component, which had values greater than 0.5, with the number of tubercles per plant (NT), and the percentage of stain tubercles (STI) and outbreak of thread (OT), which revealed a positive association among them with values above 0.5. These values on agronomic traits and tubercles are highly susceptible to symptoms of purple top syndrome (Maramorosch, 1988;

Cuadro 1. Coeficientes de correlación de cada variable con los tres componentes principales.

Table 1. Correlation coefficients of each variable with the three principal components.

Variables	Componentes		
	1	2	3
Días a inicio de síntomas (DIS)	0.701	-0.511	0.073
Días a muerte de la planta (DMP)	0.754	-0.576	-0.041
Intervalo de inicio a marchitez (ISM)	0.519	-0.439	-0.201
Altura de planta (AP)	0.628	-0.341	0.103
Cobertura (COB)	0.641	-0.511	-0.177
Producción total por planta (PT)	0.719	0.398	0.331
Numero de tubérculos por planta (NT)	0.738	0.580	0.108
Porcentaje manchado de tubérculo (MIT)	0.567	0.655	-0.324
Brote de hilo (BH)	0.530	0.554	-0.615
Sin brote (SB)	0.510	0.359	0.637
Varianza explicada por eigenvalor (%)	40.59	25.25	11.00
Varianza acumulada (%)	40.59	65.84	76.84

(ACP), explicó 76.8% de la varianza total con los primeros tres componentes principales (Cuadro 1). El primer componente contuvo 40.59% de dicha varianza, e indicó asociación positiva entre todas las variables estudiadas; en este Cp1 resaltaron características como días a inicio de primeros síntomas y días a muerte, producción por planta y número de tubérculos por planta con valores superiores a 0.7, por lo que se puede llamar “Componente de producción o tolerancia”, ya que tiende a separar los genotipos productores de los no productores (Figura 1).

El segundo componente principal explicó la asociación negativa entre los días a inicio de primeros síntomas (ISM), días a muerte (DMP) y cobertura (COB), que presentaron valores superiores a -0.5, con el número de tubérculos por planta (NT), porcentaje de manchado de tubérculos (MIT) y brote de hilo (BH), que presentaron asociación positiva entre sí con valores superiores a 0.5. Estos valores en las características agronómicas y de tubérculos, son síntomas de alta susceptibilidad al síndrome de la punta morada (Maramorosch, 1988; Salazar, 1995; Cadena 1996; Flores *et al.*, 2008), por lo cual este componente puede denominarse de “Susceptibilidad al síndrome de la punta morada”, ya que tiende a agrupar variables asociadas a los síntomas de este síndrome (Figura 1). Para el tercer componente principal, los valores significativos pero opuestos fueron; para características de brotación de tubérculo brote de hilo (BH) -0.615 y sin brote (SB) 0.637, por lo que este CP3 que incide en la calidad de la semilla-tubérculo puede denominarse “Componente de viabilidad de semilla” (Cadena-Hinojosa *et al.*, 2003).

Los síntomas de de BH y SB, son característicos del daño por el virus potato leaf roll (PLRV) independiente y en asociación con el potato virus Y (PVY) y fitoplasmas presentan un daño más severo (Bokx, 1980), siendo de los principales patógenos que favorecen la degeneración acelerada de la semilla. Actualmente los fitoplasmas han sido señalados como patógenos de gran peligrosidad en las zonas productoras de papa comercial o como semilla, debido a que

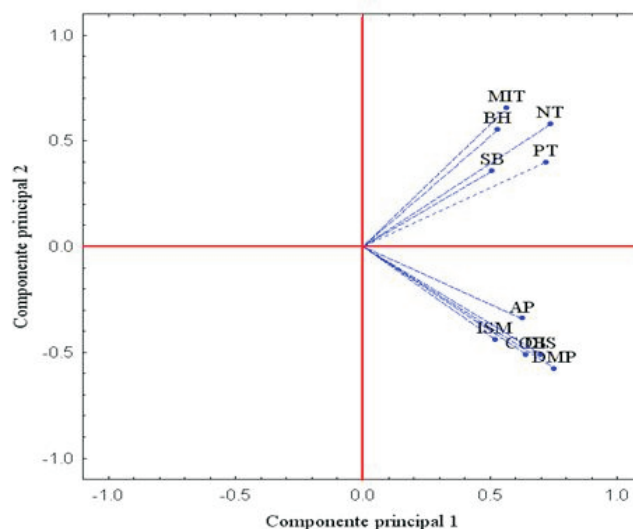


Figura 1. Distribución de las variables en los dos primeros componentes principales.

Figure 1. Variables distribution in the first two principal components.

Salazar, 1995; Cadena 1996; Flores *et al.*, 2008); consequently, this component can be called “Susceptibility to purple top syndrome” because it reveals a tendency to group variables associated with the symptoms of this syndrome (Figure 1). The significant, but opposite values for the third major component were; outbreak threat for tubercle sprouting characteristics (TS) -0.615 and without bud (WB) 0.637, which is why this CP3 that affects quality of seed tubercle may be called “Seed viability component” (Cadena-Hinojosa *et al.*, 2003).

Both TS and WB symptoms are characteristic of damage by potato leaf roll virus (PLRV) independently and in association with the potato virus Y (PVY); phytoplasma have a more severe injury (Bokx, 1980), being the main pathogens that favor accelerated degeneration of the seed. Currently, phytoplasmas have been identified as highly dangerous pathogens in commercial potato production areas or seed because they may be overlooked, being present in sprouting seed tubercles with normal sprouting (Martínez-Soriano *et al.*, 1999). The statement for the principal components that explained the greatest amount of variation are shown on Figure 1, suggesting a preliminary classification of the genotypes evaluated for their susceptibility to the purple top syndrome: The line on the zero point of CP1 Figure 2 separates the genotype producers to the left of the line and non-producers to the right. The CP2 separated the genotype producers with the highest number of tubercles and stained percentage, lower height and coverage, lower home, death, as well as initial interval to death from those taller genotypes with a wider coverage, delayed, less producing and with a fewer number of tubercles. A cluster analysis by Ward's methodology (1963) was conducted to confirm the above classifications, which identified three groups which mean values and number of members are in Table 2. A high significance was detected among most of the variables as

pueden pasar desapercibidos al estar presentes en tubérculos-semillas con brotación normal (Martínez-Soriano *et al.*, 1999). En la Figura 1, se aprecia lo expresado para los componentes principales que explicaron la mayor cantidad de variación, sugiriendo una clasificación preliminar de los genotipos evaluados por su susceptibilidad al síndrome de la punta morada, así la línea trazada en el punto cero del CP1 de la Figura 2, separa a los genotipos productores a la izquierda de la línea y a los no productores a la derecha. El CP2 separó los genotipos más productores, con mayor número de tubérculos y mayor porcentaje de manchado, menor altura y cobertura, menor inicio y muerte así como intervalo de inicio a muerte, de aquellos genotipos más altos, de mayor cobertura, tardíos, menos productores y con menor número de tubérculos. Para confirmar las clasificaciones anteriores, se procedió a realizar un análisis de conglomerados mediante la metodología de Ward (1963), la cual identificó hasta tres grupos cuyos valores medios y número de integrantes aparecen en el Cuadro 2. Al comparar tales grupos se detectó alta significancia entre la mayoría de las variables, excepto para altura de planta entre el Grupo I y II. El Grupo I estuvo

Cuadro 2. Número de individuos, medias de características agronómicas y de tubérculos en los grupos formados por diferentes genotipos de papa, sin aplicación de insecticidas. Table 2. Number of individuals, media agronomic and tubercles characteristics in the groups formed by different potato genotypes without the application of insecticides.

Variables	Grupos formados por diferentes genotipos		
	I (114)	II (53)	III (47)
Inicio de primeros síntomas (DIS)	34.061	42.717	56.191
Días a muerte de la planta (DMP)	49.105	59.755	79.425
Intervalo de inicio a marchitez (ISM)	15.044	16.906	23.085
Altura de planta (AP)	30.123	40.585	45.319
Cobertura (COB)	22.447	35.925	53.489
Producción total por planta (PT)	0.000	49.774	6.531
Número de tubérculos por planta (NT)	0.000	9.151	1.064
Porcentaje de manchado de tubérculos (MIT)	0.000	87.698	8.894
Brote de hilo (BH)	0.000	63.962	10.638
Sin brote (SB)	0.000	36.038	0.000

conformado por 114 genotipos que se caracterizaron por no producir tubérculo y porque sus características agronómicas obtuvieron los valores más bajos, debido posiblemente a la susceptibilidad mostrada al síndrome de punta morada. Los genotipos que conformaron el Grupo II (53), fueron los de mayor tolerancia al síndrome, ya que presentaron la mayor media de producción por planta (49.77 g planta⁻¹) y sobrevivieron, de inicio de síntomas a marchitez, 17 días. En este grupo probablemente ocurrió la más rápida translocación de fotosintatos para el llenado de tubérculo antes de que el floema fuera afectado por hipertrofia, hiperplasia y proliferación o necrosis de células y acumulación anormal de callosa en las paredes o por la tasa de translocación del virus o fitoplasma, que depende del ritmo de multiplicación y para la

such groups were compared, except for plant height between Group I and Group II. Group I consisted of 114 genotypes that were distinguished by a lack of tuber production, and because their agronomic traits revealed lower values, probably due to the sensitivity shown to the purple top syndrome. The genotypes that formed the Group II (53) were the most tolerant to the syndrome, as they showed the highest average production per plant (49.77 g plant⁻¹), and survived the onset symptoms to wilt for 17 days. The fastest photosynthate translocation probably occurred in this group to fill the tubercle before the phloem was affected by hypertrophy, hyperplasia and proliferation or cell necrosis and abnormal callose accumulation in the walls or the rate of the virus translocation or phytoplasma, which depends on the multiplication rate and for which varieties differ, as it has been reported by Bokx (1980) and Ploaie (1981). The Group II stands out because it presents the first symptoms later (56 days), as well as the broader wilt range (23.08), suggesting a slow disease development or presence of characteristics that make them unattractive to the vector. The average output of this group was very low (6.531 plant⁻¹). This low yield could be due to a reduced carbohydrates translocation from leaves to tubercles, resulting in the starch accumulation in the leaves, stem and bulge at the point of leaves insertion and air tubercle formation, as suggested by Ames (1980) and Maramorosch (1988). The low yield average values per plant obtained in the study hereby were probably due to the presence of high vector populations because there were no insecticide application for their control; therefore, disease transmission was higher, the aphids had a higher population with regards to Paratrioza and sharpshooter from the emergency, which was standardized at 21 days after planting (Figure 3). The purple top syndrome symptoms in plant and tubercle can be caused by viruses and phytoplasmas (Bokx, 1980; Martínez-Soriano *et al.*, 1999), as well as by the *Xilella fastidiosa* bacteria (Wells); the latter has also been reported as an inducer of the characteristic symptoms of the disease (Secor *et al.*, 2006). It is possible that the *Candidatus Liberibacter solanacearum* bacteria was also present, a species that only affects the species of nightshade family as tomatoes and potatoes, and which is transmitted by *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hansen *et al.*, 2008). This makes it difficult to elucidate the importance of each, as in the samples analyzed, where the presence of the PLRV and PVY viruses, phytoplasmas and the *Xilella fastidiosa* bacteria (Wells) was revealed. The phytoplasma was detected in 80% of the samples, followed by PVY and PLRV, with 31 and 28.6%, respectively. As for the combinations detected, the most frequent were PVY and phytoplasma (28.6%). Since the transmission of these pathogens is through vector and healthy seed were used (mini-tubercles from greenhouse and analyzed against the presence of virus and phytoplasma), it is assumed that the pathogens were acquired through the vectors. No analysis was performed for the *Candidatus Liberibacter solanacearum* bacteria; yet the presence of its main vector (*Bactericera cockerelli* Sulc) and other alternate hosts of the bacteria such as the Morning Glory (*Ipomoea* spp.) and cilindrillo (*Lycium berlandieri*) suggests the

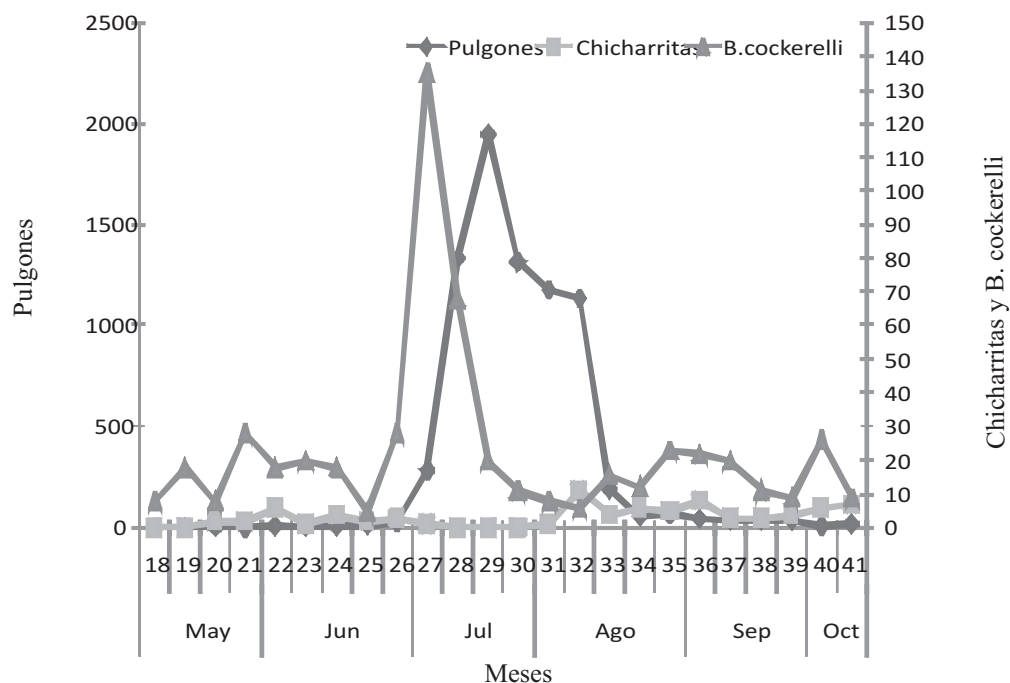


Figura 3. Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2006), en la localidad de Emiliano Zapata municipio de Arteaga, Coahuila, México.

Figure 3. Insect vectors monitoring through the cycle (P-V 2006), at the village of Emiliano Zapata, municipality of Arteaga, Coahuila, Mexico.

como inductora de los síntomas característicos de esa enfermedad (Secor *et al.*, 2006). Es posible que también estuviera presente la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum*, especie que solo afecta a especies de la familia solanaceae como el tomate y la papa y es transmitida por *Bactericera cockerelli* (Sulc) (Hansen *et al.*, 2008). Lo anterior hace difícil dilucidar la importancia de cada una de ellas, ya que en las muestras que se analizaron, se encontraron los virus PLRV y PVY, fitoplasma y la bacteria *Xylella fastidiosa* (Wells). El fitoplasma fue detectado en 80% de las muestras, seguido del PVY y PLRV con 31 y 28.6% respectivamente. En cuanto a las combinaciones detectadas, la más frecuente fue PVY y fitoplasma (28.6%). Como la transmisión de estos patógenos se realiza a través de vectores y se utilizó semilla sana (minitubérculos provenientes de invernadero y analizados contra la presencia de virus y fitoplasmas), se asume que los patógenos fueron adquiridos a través de los vectores. Para la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* no se realizó análisis; sin embargo, la presencia de su principal vector (*Bactericera cockerelli* Sulc) y otros hospederos alternos de la bacteria como la correhuela (*Ipomoea* spp.) y el cilindrillo (*Lycium berlandieri*) hace suponer su presencia en el sitio de evaluación. En virtud de lo complejo del problema del síndrome de la punta morada debido al gran número de agentes causales, es importante seleccionar aquellos genotipos menos susceptibles y utilizar el método más adecuado para controlar la enfermedad. En la Figura 4, se observa el agrupamiento de genotipos que lograron producir

tuber internal staining and the clones 94-02-01, 98-14-01 and 96-01-01 were tolerant to these symptoms with 25, 18 and 25%, respectively. There are reports of staining resistance for the Alpha and Gigant cultivars (Cadena, 1996; Cazares *et al.*, 2003). These genotypes as well as the clone 91-29-10 could be used as parents in a resistance to staining breeding program.

CONCLUSIONS

The Group II, within the groups generated, consists of 53 genotypes and it was more tolerant to purple top syndrome, having the Gigant, Alpha, Norteña, Bayonera, Nieder, Atlantic, 91-29-10, 98-14-01, 94-02-01 and 96-01-01 standing out the genotypes from it because of their higher production and lower tuber stained when there was no control over disease vectors by chemical means. These materials are alternatives for use in breeding programs aimed for the search of resistance or tolerance to the potato purple top syndrome.

LITERATURA CITADA

- Almeyda, L.I.H., Rocha, P.M.A., Piña, R.J., Martínez, S.J.P. 2001. The use of polymerase chain reaction and molecular hybridization for detection of *Phytoplasma* sp. in different plant species in Mexico. *Revista Mexicana de Fitopatología* 19:1-9.
- Ames, T.I. 1980. Compendio de enfermedades de la papa. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú. Pp: 25-26.
- Bayer, 2008. Manual del tizón tardío (*Phytophthora*

(Grupo II), así como los que alcanzaron baja producción (Grupo III) y nula producción (Grupo I); con base en esto, el componente CP1 separó los genotipos con y sin producción. De acuerdo con estos resultados, el Grupo II es de mayor importancia para iniciar un programa de mejoramiento, al tener mayor tasa de translocación de fotoasimilados o mayor resistencia a la afectación del floema, comparándolo con el Grupo I en el que fue nula la producción de tubérculo y más temprano el inicio de síntomas y muerte de planta, y con el Grupo III, que mostró más tardío el inicio de síntomas y muerte de la planta y baja producción, por lo que son necesarios estudios más precisos para determinar las causas de su comportamiento. En el Cuadro 3; aparecen los genotipos del Grupo II que superaron a la media de producción por planta; en dicho grupo quedaron incluidas las principales variedades comerciales (Alpha, Atlantic y Gigant), así como las nuevas variedades liberadas por el INIFAP (Nieder y Bayonera) y algunos clones promisorios del mismo Instituto. Los genotipos Alpha, Gigant, 91-29-10 y CIP-30, son relevantes porque no presentaron manchado interno de tubérculo y los clones 94-02-01, 98-14-01 y 96-01-01 fueron tolerantes para este síntoma con 25, 18 y 25% respectivamente. Para los cultivares, Alpha y Gigant, existen informes de resistencia al manchado (Cadena, 1996; Cazares *et al.*, 2003), éstos genotipos al igual que el clon 91-29-10 pudieran ser utilizados como progenitores en un programa de mejoramiento por resistencia al manchado.

CONCLUSIONES

Dentro de los grupos generados, el Grupo II conformado por 53 genotipos resultó más tolerante al síndrome de la punta morada, destacando en él los genotipos Gigant, Alpha, Norteña, Bayonera, Nieder, Atlantic, 91-29-10, 98-14-01, 94-02-01 y 96-01-01, por su mayor producción y menor manchado del tubérculo cuando no se controlan vectores de la enfermedad por medios químicos. Estos materiales se constituyen como alternativas para ser utilizados en programas de mejoramiento genético, orientados a la búsqueda de resistencia o tolerancia al síndrome de punta morada de la papa.

- infestans*). Información Técnica. Bayer de México, S. A. de C.V. 45p.
- Bokx, J.A. 1980. Viruses of potatoes and seed-potato production. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands. 291p.
- Cadena, H. M. A. 1996. La punta morada de papa en México: II Efecto de cubiertas flotantes, cultivares y productos químicos. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 14:20-24.
- Cadena-Hinojosa, M. A., Guzmán-Plazola, R., Díaz-Valasis, M., Zavala-Quintana T.E., Magaña, T.O.S., Almeyda-León, I.H., López-Delgado, H., Rivera-Peña, A. y Rubio-Covarrubias, O. 2003. Distribución, incidencia y severidad del pardeamiento y la brotación anormal en los tubérculos de papa en Valles Altos y Sierras de los estados de México, Tlaxcala y el Distrito Federal, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21:248-259.
- Cazares, M.I.G., de la Jara, A. F., Rodríguez, D.A.M. y Cadena, H.M.A. 2003. Comparación de patrones electroforéticos de proteínas e isoenzimas en tubérculos sanos y con síntomas de punta morada de siete variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21:102-108.
- Davis, H.V. 1998. Physiological mechanisms associated with the development of internal necrotic disorders of potato. *American Journal of Potato Research*. 75:37-44.
- Estrada, R.N. 1999. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. Ed. Centro de Información para el desarrollo. Centro Internacional de la Papa. Libro Técnico. La Paz Bolivia. Pp:17-63.
- Flores, O.A., Alemán, N.I.A. y Notario, Z.M.I. 2008. Alternativas para el manejo de la punta morada de la papa. Pp. 66-89. *In*: Flores Olivas, A. y Lira Saldivar, R.H. (eds). Detección, Diagnóstico y Manejo de la Enfermedad Punta Morada de la Papa. Ed. Parnaso. Málaga, España.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köpen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México, D. F. 217 p.
- Garza, L.J.C. 1999. Control de la marchitez de la planta y

Cuadro 3. Producción de tubérculos por planta de los genotipos que superan la media del Grupo II.
Table 3. Tuber production per plant of the genotypes exceeding the average mean of the Group II.

Genotipo	Producción (g)	Genotipo	Producción (g)	Genotipo	Producción (g)
T98-30-30	52	T03-6-32	76	Bayonera	145
T02-2-37	52	91-29-10	95	T-03-7-5	149
T03-13-12	55	98-14-01	95	Atlantic	150
T92-35-2	60	Altantic (CIP)*	125	Alpha	152
T00-32-32RJ	62	Norteña	135	96-01-01	165
T97-1-255	62	94-02-01	135	Alpha (CIP-30)*	165
T03-6-46	72	Nieder	138	Gigant	170

* Genotipos provenientes del Centro Internacional de la Papa (CIP).

- necrosis interna del tubérculo en papa en Coahuila y Nuevo León. Campo Experimental Saltillo, INIFAP. Folleto Técnico No. 1. 11p.
- Hansen, A.K., Trumble, J.T., Stouthamer, R. and Paine, T.D. 2008. A new Huanglongbing (HLB) species, "*Candidatus Liberibacter psyllaeus*," found to infect tomato and potato, is vectored by psyllid *Bactericera cockerelli* (Sulc). Applied Environmental Microbiology 74:5862-5865.
- ITESM. 2003. Informe del Foro Cadena Agroalimentaria de Papa (Alta Tecnología). Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey Campus Saltillo. Saltillo, Coah., México. 35p.
- Johnson, R.A. and Wichern, D.W. 1988. Applied Multivariate Statistical Analysis. 2nd ed. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, USA. 607p.
- Manly, B.F.J. 1986. Multivariate Statistical Methods: A Primer. Ed. Chapman and Hall. London. 160p.
- Martínez-Soriano, J.P., Leyva-López, N.E., Zavala-Soto, M.E., Beres, M. y Leal-Klevezas, D.S. 1999. Detección molecular del agente causal de la "bola de hilo" de la papa en semillas infectadas y asintomáticas. Biotecnología Aplicada 16:93-96.
- Mendoza, H.A. 1997. Development of potatoes with multiple resistances to biotic and abiotic stresses. Advances in Potato Pest. Biology and Management. APS Press. Pp:627-642.
- Maramorosch, K. 1988. Potato purple top wilt. Entomology Department, Cook College, Rutgers-The State University. NJ, USA. 456p.
- Parga, T.V.M. 2000. Devoran a la Papa: Plaga y Altos costos. Nota periodística publicada el 23 de octubre del 2000 en el periódico la PALABRA. Saltillo Coah. México.
- Parga, T.V.M. 2008. Mejoramiento genético por resistencia a punta morada de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Pp:49-56. In: Flores Olivas, A. y Lira Saldivar, R.H. (eds). Detección, Diagnóstico y Manejo de la Enfermedad Punta Morada de la Papa. Ed. Parnaso. Málaga, España.
- Parga, T.V.M., García, G.S.J., Villavicencio, G.E.E., Sánchez, S.J.A., Contreras, de la R.F.J., Arellano, G.M.A., Covarrubias, R.J.M., Rubio, C.O.A. y Fernández E.J. 2005. Tecnología para producir papa en Coahuila y Nuevo León. Campo Experimental Saltillo, INIFAP. Folleto Técnico No. 5. Saltillo, Coah., México. 164p.
- Ploaie, P.G. 1981. Plant Diseases and Vectors Ecology and Epidemiology. Maramorosch, K. and Harris, K.F. (eds.). Academic Press. NY, USA. 368p.
- Rivera, P.A. 2008. Generación de variedades de papa en México. Memorias del XII Congreso Nacional de Papa. Los Mochis, Sinaloa, México. Pp:45-48.
- Rubio, C.O.A. 1998. Manejo Integrado de la nutrición del cultivo de la papa. Memorias del 2º Simposium Internacional de la Papa. Toluca, México. Pp:35-42.
- Salazar, L.F. 1995. Los virus de la papa y su control. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. 226p.
- Secor, G., Munyaneza, J. y Ming-Lee, I. 2006. Una nueva enfermedad tipo punta morada causando pérdidas en el cultivo de la papa en Norte América. En: Mora-Aguilar, R. y H. Lozoya-Saldaña. Memorias del XXII Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa. Toluca, México. Pp:2-5.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2010. Cierre de la producción agrícola por cultivo. El cultivo de papa. Año 2009. Informe SIAP. México, D.F. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350. (consulta, noviembre 2010).
- Ward, J.H.Jr. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American Statistical Association 58:236-244.
- Ye, C.W.E., Díaz, S.H., Lozano del R.A.J., Zamora, V.V.M. y Ayala, O.M.J. 2001. Agrupamiento de germoplasma de triticale forrajero por rendimiento, ahijamiento y gustosidad. Técnica Pecuaria en México 39:15-30.
- Zavala-Quintana, T.E. 2002. Experiencias en el valle de Toluca sobre punta morada. Memorias del XI Congreso Nacional de la Papa. León, Guanajuato México. Pp:81-97.