

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comportamiento Agronómico y de Calidad en Clones y Variedades de Papa
(*Solanum tuberosum L.*) Tolerantes al Síndrome de la Punta Morada

Por:

JOAQUÍN MENDOZA CASTELLANOS

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Enero 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Comportamiento Agronómico y de Calidad en Clones y Variedades de Papa
(*Solanum tuberosum* L.) Tolerantes al Síndrome de la Punta Morada

Por:

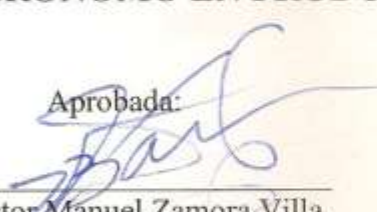
JOAQUÍN MENDOZA CASTELLANOS

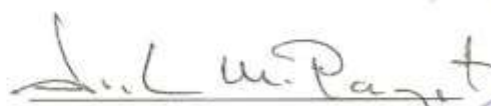
TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

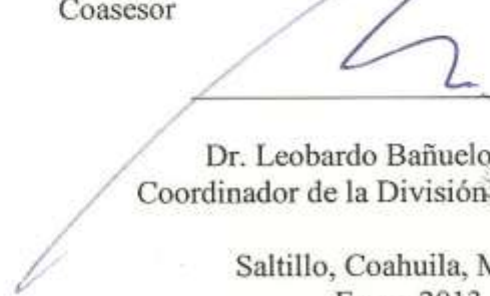
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada:


Dr. Víctor Manuel Zamora Villa
Asesor Principal



Dr. Víctor Manuel Parga Torres
Coasesor


M.P. María Alejandra Torres Tapia
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Enero 2013


Coordinación
División de Agronomía

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por estos cuatro años y medio que me ayudo a mi formación profesional lo cual me servirá en los nuevos retos que vengan.

A Fondo Mixto Conacyt- Gobierno de Coahuila por el apoyo económico en la realización del presente trabajo.

Al Dr. Víctor Manuel Parga Torres, por asesorarme y brindar su experiencia en la realización de esta tesis, así como su amistad y confianza.

Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa, por su apoyo y orientación para el desarrollo de este trabajo.

A la M.P. María Alejandra Torres Tapia por su ayuda en la realización y supervisión del trabajo.

DEDICATORIAS

A Dios.

A mis padres Pascual Mendoza Cruz, Silvia Castellanos Vázquez por el apoyo que me han brindaron durante estos años para construir este sueño, por lo cual han sacrificado mucho.

A mis hermanas que han estado a mi lado a quienes quiero mucho, Paola, Adriana y Minerva.

A mi “Alma Terra Mater”.

A mis amigos por convivir estos años, que han estado en los buenos momentos y en los malos, “gracias por su amistad”.

RESUMEN

Comportamiento Agronómico y de Calidad en Clones y Variedades de Papa (*Solanum tuberosum* L.) Tolerantes al Síndrome de la Punta Morada

Palabras clave: papa, tolerancia, estabilidad, síndrome de la punta morada.

En el presente estudio se evaluaron la estabilidad de 16 genotipos seleccionados, y agrupados de acuerdo a sus características agronómicas, calidad y daño por enfermedades. El trabajo se estableció en tres localidades (ambientes) productoras de papa en los estados de Coahuila y Nuevo León. Se sembraron en el ciclo primavera-verano 2012. El rendimiento total y comercial se analizó, en bloques al azar combinado sobre ambientes, para determinar la existencia de la interacción genotipo x ambiente (IGA), habiendo interacción se realizó el método “Análisis de los efectos principales aditivos y las interacciones multiplicativas” (AMMI) por sus siglas en inglés. Los datos agronómicos y de calidad, así como los coeficientes del primer eje del AMMI para los genotipos, a través de los ambientes de prueba, se sometieron al análisis de conglomerados.

Se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.01$) entre ambientes, genotipos y la interacción genotipo x ambiente para todas las variables agronómicas. La prueba de media para ambientes conformó dos grupos bien diferenciados de producción siendo las localidades Puerto y Lirios (27.20 y 29.77 t ha⁻¹) estadísticamente iguales (Duncan ≤ 0.05) y El Tokio el segundo con la media de producción comercial más bajas (19.85 t ha⁻¹). En la localidad Puerto solo se presentó *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, en Lirios hubo presencia del síndrome de la punta morada causada por fitoplasma y *C. Liberibacter solanacearum* la cual es

transmitida por el psílido de la papa *B. cockerelli*, posiblemente por las bajas poblaciones de vectores aunado a las aplicaciones semanales de insecticidas para su control, las parcelas no presentaron los síntomas uniformidad en el daño así que, no se pueden catalogar como tolerantes los genotipos que no manifestaron daños. Para Tokio, los rendimientos fueron afectados por la marchitez prematura causada por *Fusarium spp.*, y *Colletotrichum atramentarium* (Berk et Br) Taub, y la alta incidencia del nematodo *Meloidogyne spp.*

Los genotipos más sobresalientes a través de las localidades por su rendimiento comercial y total fueron: 96-01-01, 02-95, Norteña, NAU-6 y Alpha, pero los más estables, fueron; Norteña, Alpha y 02-95. De acuerdo al análisis de conglomerados se generaron cinco grupos, el grupo tres conformado por el clon 96-01-01 fue el que presentó tolerancia a las enfermedades evaluadas, mejores características agronómicas y calidad. Este clon puede utilizarse en la generación de germoplasma por tolerancia al síndrome de la punta morada, el quinto conformado por las variedades de ciclo temprano; Agata, Atlantic y Gigant, que fueron las más susceptibles a las enfermedades presentes en la región.

ABSTRACT

Agronomic Performance and Quality of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Clones and Varieties Tolerant to the Purple Top Syndrome

Key words: potato, tolerance, stability, purple top syndrome.

In this study the stability of 16 selected genotypes was evaluated and grouped according to their agronomic, quality and disease damage. The study was done in three potato growing localities in the states of Coahuila and Nuevo Leon, and planted in the spring-summer 2012. Total and commercial yields were analyzed as randomized block combined over environments to determine the existence of genotype x environment interaction (GEI), if the interaction was present an Additive Main Effects and Multiplicative Interactions Analysis (AMMI) was performed. The agronomic and quality data and the coefficients of the first axis of the AMMI for genotypes through test environments, were subjected to cluster analysis.

Significant differences were found ($p \leq 0.01$) among environments, genotypes and genotype x environment interaction for all agronomic variables. The mean test for environment formed two distinct groups of production, being the localities Puerto and Lirios (27.20 y 29.77 t ha⁻¹) statistically equal (Duncan ≤ 0.05) and Tokio the second with the lower commercial production mean (19.85 t ha⁻¹). In the location Puerto only *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary occurred, whereas in Lirios there was presence of purple top syndrome caused by phytoplasma and *C. Liberibacter solanacearum*, transmitted by the potato psyllid

B. cockerelli, possibly due to low vector populations in addition with weekly applications of insecticides for control, however the plots did not present symptoms homogeneously. So the genotypes that did not show any damage cannot be classify as tolerant genotypes. For Tokio, yields were affected by early wilt caused by *Fusarium spp.*, and *Colletotrichum atramentarium (Berk et Br) Taub*, and high incidence of *Meloidogyne spp.*, a nematode.

The most outstanding genotypes across locations for commercial and total yield were: 96-01-01, 02-95, Norteña, NAU-6 and Alpha, however the most stable were; Norteña, Alpha and 02-95. According to the cluster analysis five groups were generated, with group three formed by the clone 96-01-01, which was the one with tolerance to the evaluated diseases, better agronomic and quality characteristics. The fifth group consists of early cycle varieties: Agata, Atlantic y Gigant; these were the most susceptible to regional diseases. This clone can be used in the selection of germplasm for tolerance to purple top syndrome.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------------|
| AGRADECIMIENTOS | iii |
| DEDICATORIAS | iv |
| RESUMEN | v |
| ABSTRACT | vii |
| ÍNDICE GENERAL | ix |
| ÍNDICE DE CUADROS | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVO | 3 |
| Objetivo específico. | 3 |
| HIPÓTESIS | 3 |
| REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| Origen. | 4 |
| Síndrome de la Punta Morada (SPM). | 5 |
| Interacción genotipo x ambiente. | 8 |
| Análisis de conglomerados. | 13 |
| MATERIALES Y METODOS | 19 |

| | |
|--|-----------|
| Ambientes..... | 19 |
| Material genético. | 20 |
| Desarrollo de los experimentos..... | 21 |
| Variables registradas. | 23 |
| Análisis estadístico..... | 26 |
| Análisis de Conglomerados. | 29 |
| Comparación de Medias. | 30 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 31 |
| Rendimiento Comercial y Total..... | 31 |
| Análisis de la Interacción Genotipo-Ambiente (IGA). | 41 |
| Análisis de Conglomerados. | 51 |
| CONCLUSIONES..... | 55 |
| BLIBLIOGRAFIA..... | 57 |
| APÉNDICE..... | 68 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 3.1. Características de los ambientes de evaluación. | 19 |
| Cuadro 3.2 Germoplasma de papa evaluado en tres ambientes de producción de papa en México..... | 21 |
| Cuadro 3.3. Criterios para clasificar la papa, considerando su diámetro inferior y su forma. | 24 |
| Cuadro 3.4. Forma de análisis de varianza de bloques completos al azar..... | 26 |
| Cuadro 3.5. Forma de análisis de varianza de bloques completos al azar combinado sobre localidades..... | 27 |
| Cuadro 4.1. Cuadros medios y significancia para rendimiento comercial y total en 16 genotipos de papa en tres ambientes y sus componentes principales. | 31 |
| Cuadro 4.2. Media de características agronómicas, daño por enfermedades y de calidad de las tres localidades (p-v 2012)..... | 33 |
| Cuadro 4.3. Valores promedio de características agronómicas, daño por enfermedades y de calidad, de los 16 genotipos evaluados a través de las tres localidades (p-v 2012). | 35 |
| Cuadro 4.4. Evaluación de daño por enfermedades presentes en tres localidades (p-v 2012)..... | 37 |
| Cuadro 4.5. Valores promedio por grupo de características agronómicas, daño por enfermedades y de calidad de 16 genotipos (p-v 2012). | 51 |
| Cuadro A.1. Cuadro con los valores de medias de las características agronómicas, daño por enfermedad y de calidad en 16 genotipos evaluados en la localidad Puerto, Arteaga, Coahuila (p-v 2012). | 68 |
| Cuadro A.2. Cuadro con los valores de medias de las características agronómicas, daño por enfermedades y de calidad en 16 | |

| | |
|---|----|
| genotipos evaluados en la localidad Lirios, Arteaga, Coahuila (p-v 2012). | 69 |
| Cuadro A.3. Cuadro con los valores de medias de las características agronómicas, daño por enfermedades y de calidad en 16 genotipos evaluados en la localidad Tokio, Galeana, Nuevo León (p-v 2012). | 70 |
| Cuadro A.4. Media de rendimiento por planta en clones y variedades evaluados a resistencia a Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary) en la localidad Puerto del municipio de Arteaga, Coahuila (p-v 2012). | 71 |
| Cuadro A.5. Cuadro de presencia y diagnóstico de genotipos con síntomas de la punta morada de la papa en la localidad Lirios (p-v 2012). | 72 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 4.1. Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad Puerto del municipio de Arteaga, Coahuila. | 40 |
| Figura 4.2. Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad Lirios del municipio de Arteaga, Coahuila | 40 |
| Figura 4.3. Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad Tokio del municipio de Galeana, Nuevo León, | 41 |
| Figura 4.4. Distribución de genotipos y ambientes para el rendimiento total y los primeros dos componentes. | 43 |
| Figura 4.5 Distribución de genotipos y ambientes con base al rendimiento total y el primer componente. | 46 |
| Figura 4.6. Distribución de genotipos y ambientes para el rendimiento comercial y los primeros dos componentes. | 47 |
| Figura 4.7. Distribución de genotipos y ambientes con base al rendimiento comercial y el primer componente. | 49 |

Figura 4.8. Agrupamiento de genotipos en base a características agronómicas y estabilidad de producción..... 54

INTRODUCCIÓN

En México la superficie dedicada a la producción de papa ha cambiado poco desde 1980, el rendimiento promedio casi se ha triplicado desde 1961 y en 2007 hubo una cosecha extraordinaria de 1,75 millones de toneladas. El consumo per cápita de papa en México es de 17 kilogramos, pero las importaciones de Canadá y los Estados Unidos no han dejado de aumentar en los últimos años, y en 2006 llegaron a 65 000 toneladas de papa fresca y 122 000 toneladas de productos congelados (Año Internacional de la Papa, 2008).

La producción del año 2011 en México fue de 1,433,239.14 toneladas en una superficie de 54,551.05 ha, con una producción 26.27 t ha^{-1} . (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2012). En la producción de este cultivo existen diversos factores que limitan su rentabilidad siendo los fitosanitarios los más importantes (Martínez *et al.*, 2007).

Desde que se iniciaron las negociaciones del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica, en papa comercial procedente de USA a franja fronteriza mexicana se han identificado los siguientes incumplimientos fitosanitarios: *Meloidogyne chitwoodi*, *Meloidogyne javanica*, *Ditylenchus dipsaci*, PVYn, PVYntn, *Ralstonia*

solanacearum, *Clavibacter michiganensis subs* *cepedonicus* han sido identificados en primera instancia por laboratorios acreditados y confirmados por el Centro Nacional de Referencia. (Comité Nacional Sistema Producto Papa, 2012).

Al inicio de la década de 1990 se introdujeron en México variedades con características de calidad adecuadas para la industria, debido al auge en el consumo de comidas rápidas y de papa frita (hojuela); sin embargo, las variedades introducidas (Atlantic, Snowden, Chipeta, Premiere, Cesar, Adora, Vivaldi etc.) muestran alta susceptibilidad a las principales enfermedades (tizón tardío, tizón temprano, *Fusarium spp.*, *Verticillium spp.*, virus, fitoplasmas, etc.) y a las temperaturas extremas adversas, lo que han ocasionado una fuerte dependencia hacia el uso de agroquímicos debido a la baja resistencia a las enfermedades y a la falta de adaptación de los cultivares a las condiciones adversas, por lo cual la calidad del producto dirigido tanto al mercado fresco como a la industria, ha sido afectada por condiciones que favorecen al síndrome de la punta morada, con pérdidas del 35% por mala calidad y manchado interno del tubérculo (Parga, 2000). Actualmente, para producir papa en el Noreste de México, se requieren de 30 a 50 aplicaciones de insecticidas para el control de los principales vectores de virus y fitoplasmas (Parga *et al.*, 2008). El principal programa de mejoramiento genético en México, tiene como objetivo la generación de germoplasma por resistencia al tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans (Mont.) de Bary*), en el que México es líder a nivel mundial. Sin embargo, debido al incremento del

problema de punta morada actualmente se están realizando evaluaciones para determinar y detectar fuentes de resistencia contra el síndrome de la punta morada.

OBJETIVO

Por lo anterior el objetivo general del proyecto fue:

Evaluación en campo de germoplasma nacional e introducido de papa por tolerancia al síndrome de la punta morada.

Objetivo específico.

Evaluar la estabilidad de rendimiento comercial y total de genotipos nacionales e introducidos, y agruparlos de acuerdo a sus características agronómicas, calidad y daño por el síndrome de la punta morada.

HIPÓTESIS

Es posible, que al menos dos genotipos presenten además de estabilidad en sus características agronómicas y de calidad, tolerancia al síndrome de la punta morada.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen.

Datos obtenidos con el carbono catorce han demostrado que la papa fue domesticada hace por lo menos 10,000 años en el altiplano, al sureste de Perú y noroeste de Bolivia (Engel, citado por Nelson, 2000). Según Hawkes citado por Nelson (2000), otras papas silvestres comenzaron a evolucionar en México y algunas migraron a América del Sur cuando se formó el puente terrestre en la época geológica del plioceno, hace tres millones de años. El número de especies silvestres es aproximadamente 200 y si se cuentan las diversas variantes o clones de cada una, pasan de 2,000 con características variables dentro de una misma especie (Nelson, 2000). La papa puede ser clasificada en niveles de ploidia. Ploidia es el número de juegos (x) de cromosomas presentes en una célula vegetativa (somática). Las células vegetativas normalmente contienen como mínimo dos juegos de cromosomas. El número básico de cromosomas de la papa consta de 12 cromosomas, es decir, $x=12$. Las células somáticas de las especies cultivadas de papa pueden variar entre el nivel diploide y pentaploide. La

expresión $2n$ simboliza el nivel de ploidía y, en concordancia con x , el número total de cromosomas en las células vegetativas.

Basándose en los caracteres florales, la papa ha sido clasificada de acuerdo al siguiente sistema.

| | |
|---------|------------|
| Familia | Solanaceae |
| Genero | Solanum |
| Sección | Petota |

Esta sección se subdivide en series, especies y subespecies. Todas las especies de papa, tanto cultivada como silvestres, pertenecen a la Sección Petota (Zósimo, 1986).

Síndrome de la Punta Morada (SPM).

La punta morada causada por fitoplasma se caracteriza por un achaparramiento de la planta, abultamiento del tallo en los lugares de inserción de las hojas, formación de tubérculos aéreos y una decoloración en las hojas superiores, las cuales tienden a tornarse moradas en algunas variedades. Los tubérculos provenientes de plantas con síntomas de SMP desarrollan un pardeamiento interno y generalmente no brotan, o si lo hacen, sus brotes son muy delgados o ahilados. (Almeyda *et al.*, 1999; Maramorosch, 1998; Cadena *et al.*,

2003), otros patógenos asociados con el SPM son los virus del enrollamiento (PLRV) y (PVY) (Flores *et al.*, 2004) y daños ocasionados por hongos como *Fusarium spp.*, *Verticillium spp.*, y *Rhizoctonia spp.* (Guigon, 1994; Moctezuma, 2005), y la bacteria *C. Liberibacter psyllaourous*, (Hansen 2008), en la actualidad *C. Liberibacter solanacearum* o *psyllaourous*, se han considerado el mismo patógeno de acuerdo a la EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization, 2012), pero por el momento no está del todo claro si corresponden al mismo patógeno.

El SPM afecta también la calidad de los tubérculos por un manchado interno que los hace inadecuados para la industria y para uso como semilla (García-Quijano, 1996; Almeyda *et al.*, 1999; Cazares *et al.*, 2003). Existen evidencias que indican, que además de agentes bióticos, los abióticos como la temperatura, humedad relativa o una mala nutrición pueden causar alteraciones metabólicas o fisiológicas de la planta, provocando la expresión de síntomas de punta morada (Agrios, 1996; Rubio, 1998; Santiago, 2004).

El síntoma de enrollamiento con o sin clorosis, conjuntamente con una pigmentación roja pueden acompañar a los daños provocados por *Rhizoctonia solani*, a la marchitez por *Fusarium spp.*, por virus y fitoplasmas o por otros patógenos y también puede ser la consecuencia de daños mecánicos que se han producido en los tallos. También ciertas deficiencias de elementos nutricionales en la planta pueden causar estos síntomas (García y Olivares, 2001). En las zonas

productoras de papa de Coahuila y Nuevo León, diagnósticos fitopatológicos (Ramos *et al.*, 2003) han identificado la presencia de *Fusarium oxysporum* (80%), *Fusarium solani* (46%), *Rhizoctonia solani* (60%), *Alternaria solani* (50%) y esporádicamente *Verticillium spp.* (3%), asociados a este síndrome; también los virus PLRV (8%), PVY (1%); además se detectó el 20% de fitoplasma en plantas con sintomatología de “Punta Morada”. Por lo anterior, no todas las plantas con SPM son afectadas por fitoplasmas. Por ello, la Punta Morada es un síndrome debido a que intervienen tanto factores bióticos como abióticos.

Inicialmente esta enfermedad fue asociada etiológicamente a fitoplasmas, transmitida por chicharritas de la familia *Cicadellidae*, *Macrostelus spp.*, y *Aceratagallia spp.* (Maramorosch, 1998). En años recientes se ha comprobado un mayor porcentaje de asociación con la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* y transmitida por el insecto conocido como la paratrioza (*Bactericera cockerelli Sulc.*) (Rubio *et al.*, 2011). Otros estudios conducidos en México han comprobado que este psílido también es vector de los fitoplasmas causantes de la punta morada (Garzón *et al.*, 2004). El virus del enrollamiento de la papa (PLRV) es transmitido por *Myzus persicae*, áfido de la papa más ampliamente distribuido y el vector más importante de los virus de la papa (Raman, 1985).

Interacción genotipo x ambiente.

En los programas de mejoramiento genético de cultivos, es importante la evaluación de germoplasma en etapas intermedias y avanzadas, en diferentes ambientes de producción con el objeto de conocer su comportamiento. La respuesta diferencial de los genotipos a las condiciones ambientales produce la interacción genotipo x ambiente (IGA), que limita la precisión en la estimación del rendimiento y dificulta la identificación de genotipos aptos para ambientes específicos (Crossa *et al.*, 1990).

Con respecto a esto último, Coutiño y Vidal (2003) indican que con metodologías apropiadas de estadística y mejoramiento, es posible entender las causas de la IGA. Por su parte Yan *et al.*, (2000), reportan una eficiente técnica basada en modelos multiplicativos para explorar e interpretar los patrones de respuesta genética, ambiental y de la IGA de los ensayos evaluados en varios ambientes. La IGA es una característica que se evalúa en los genotipos sobresalientes, con el propósito de seleccionar aquellos con una menor interacción en la región de interés, y cuya respuesta en rendimiento se incremente conforme mejoran las condiciones del cultivo.

Todo programa de mejoramiento empieza evaluando un gran número de genotipos; seguido por la selección de tipos deseables, los cuales son observados en ensayos replicados primero en un ambiente y luego en diferentes ambientes y

años. Esta última evaluación hace posible el estudio de la adaptación y consistencia de los genotipos en diferentes ambientes (Wissar y Ortiz, 1987).

Allard y Bradshaw (1964), dividen el ambiente en dos clases: predecible e impredecible. La primera incluye todos los caracteres permanentes del ambiente, como las formas generales del clima y tipo de suelo, como fuente de aquellas características del ambiente que fluctúan de una manera sistémica, tal como lo largo del día y aquellos aspectos del ambiente que son determinados por el hombre y pueden ser más o menos fijados a voluntad, tal como fecha de siembra, densidad de siembra, métodos de cosecha y otras prácticas agronómicas. La segunda clase incluye fluctuaciones violentas de clima, inesperadas granizadas, tolvaderas, heladas, fuera de época, calores excesivos, etc. Espinoza (1986), menciona que es fácil seleccionar genotipos en un ambiente específico, pero que esto se dificulta al incrementar el número de ambientes en evaluación.

Los conceptos de “Estabilidad de comportamiento” y “Plasticidad” han sido discutidos por Bradshaw (1965). Que define plasticidad como la característica de un individuo que es capaz de alterar su expresión por influencia ambientales; contrariamente, considera que estabilidad indica cualquier condición donde existe carencia de plasticidad; la misma definición la aplica a homeostasis. Puede decirse que un genotipo es estable si de alguna manera puede ajustar sus respuestas fenotípicas para proporcionar alguna medida a pesar de las fluctuaciones ambientales (Moll y Stuber, 1974); estabilidad equivale al término aplicado por

Allard y Bradshaw (1964) a una variedad buena amortiguadora. Lerner (1954 a), utilizo el término “Homeostasis” para referirse al mecanismo de autorregulación del organismo, el cual le permite estabilizar su respuesta ante las fluctuaciones ambientales. Lerner (1954 b) define el término interacción genotipo-ambiente como las reacciones diferenciales que son llevadas a cabo por genotipos en diversas condiciones externas. Márquez (1970), lo define como el comportamiento relativo diferencial de genotipos al ser cultivados en ambientes diferentes.

Lin *et al.* (1986) establecen tres conceptos sobre estabilidad:

1. Un genotipo es estable si la varianza entre los ambientes es pequeña.
2. Un genotipo es considerado estable si la respuesta entre ambientes es paralela a la media de la respuesta de todos los genotipos en la prueba.
3. Un genotipo es considerado estable si el residual de cuadrado medio del modelo de la regresión sobre el índice ambiental es pequeño.

Parámetro de estabilidad fenotípica.

Para el análisis de la IGA se han desarrollado diversos métodos que permiten caracterizar los genotipos con base en su estabilidad o baja interacción:

Wricke (1962), uno de los iniciadores del estudio sobre parámetros de estabilidad, propuso la partición de la suma de cuadrados de interacción en cada uno de los tratamientos de prueba, con el propósito de detectar el grado de

homeostasis en las variedades, así los tratamientos con suma de cuadrados con mayor valor se asume que es una variedad más variable (menos estable) o sea que presentan más homeostasis. Finlay y Wilkinson (1963) señala que una variedad estable es aquella que presenta un buen rendimiento en ambientes desfavorables y posea un coeficiente de regresión igual a uno. Y las variedades con estabilidad absoluta tengan un coeficiente de regresión igual a cero, mencionando que estas variedades tienen un comportamiento similar en cualquier ambiente.

En México, según Cruz (1992), el método de Eberhart y Russell (1966), está basado en tres parámetros estadísticos para caracterizar el comportamiento de los clones en estudio:

- Media de los clones sobre las localidades.
- Coeficiente de regresión de cada clon en un experimento en un índice ambiental.
- Desviación de la regresión, la cual mide el grado de desviación del comportamiento de un clon con respecto a la línea de regresión establecida.

Recientemente, el avance en el área de la computación ha permitido el uso de metodologías más expeditas, como es el “Análisis de los efectos principales aditivos y las interacciones multiplicativas”, denominado AMMI por sus siglas en inglés (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction), propuesto por Zobel *et al.* (1988), el cual consiste básicamente en la combinación de dos técnicas de

análisis de datos: el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis de varianza (ANVA).

El AMMI consiste en realizar un ANVA de la manera usual y obtener las medias de variedades, de ambientes y la general del experimento, después la IGA (residual no aditivo del modelo del ANVA) se ajusta a un modelo multiplicativo del ACP, cuya finalidad es reducir la dimensionalidad de los datos, de tal manera que se manejen sólo dos o tres ejes para representarlos. El método AMMI ha sido usado por diversos investigadores (Crossa *et al.*, 1990); Ebdon *et al.*, 1998), debido a su gran facilidad de manejo y a la interpretación gráfica de los datos; además, normalmente explica mayor cantidad de la variación con dos o tres componentes principales que aquella que explica el ANVA en su fuente de variación correspondiente; debido a esto, se le considera un mejor modelo que aquel planteado por Eberhart y Russell (1966).

Yan *et al.* (2000), reportan la técnica “biplot” para interpretar los patrones de respuesta genética, ambiental y de la interacción genotipo ambiente de los ensayos evaluados en varios ambientes. Importantes resultados en el entendimiento de la interacción genotipo ambiente, se logran trabajando con el modelo de efectos principales aditivos y la interacción multiplicativa AMMI. Desde entonces a la fecha, el modelo ha pasado por una serie de adecuaciones en el ámbito agronómico, hasta llegar a mostrar en su salida de resultados lo que hoy se conoce como “biplot” GE, que tiene la particularidad de ser muy descriptiva en

la interpretación de los patrones de respuesta de los efectos principales y de la propia interacción (Zobel *et al.*, 1988; Crossa, 1990; Crossa *et al.*, 1991).

Las figuras “biplot” han sido empleadas por fitomejoradores, como una herramienta útil en la exploración del comportamiento de la interacción genotipo ambiente; en la identificación del mejor genotipo por ambiente; para estimar el potencial de rendimiento y estabilidad de los genotipos evaluados; para identificar grupos similares de genotipos o ambientes; y para clasificar la habilidad de discriminar y conocer la representatividad de los ambientes en una región (Yan *et al.*, 2000; Yan *et al.*, 2001).

Análisis de conglomerados.

Manly (1986), señala que el análisis de conglomerados (Cluster Analysis), se diseñó para resolver el siguiente problema: Dada una muestra de n objetos, cada uno de los cuales tiene una caracterización sobre p variables, diseñar un esquema para agrupar los objetos dentro de clases, de tal manera que objetos similares estén dentro de una misma clase. El método debe ser completamente numérico y el número de clases es desconocido.

Dentro de sus ventajas se señalan que puede ser útil para reducción de datos y encontrar grupos verdaderos, en caso de que el análisis de conglomerados

genera agrupamientos inesperados, entonces podría ser útil para sugerir las relaciones que podrían ser investigadas. Así mismo menciona que existen dos tipos de análisis de conglomerados: Jerárquicos y no jerárquicos, dentro de los cuales son más utilizados los de primer tipo. Los datos para el análisis de conglomerados, usualmente consisten de los valores de p variables $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$ medidas en n objetos. Mediante algoritmos jerárquicos, estas variables son usadas para producir un arreglo de distancias entre los individuos en un plano de dos ejes (o variables), que puede extenderse a más de dos.

El análisis de conglomerados (AC), se ha usado principalmente para agrupar individuos con características fenotípicas, bioquímicas o genotípicas similares. García y Steiner (2003), en un trabajo realizado para determinar la diversidad genética del trébol pata de pájaro (*Lotus corniculatus L.*), utilizaron el AC mediante el método de Ward (1963), para hacer grupos de similitud en base a datos de morfología de la planta y análisis de polimorfismos aleatorios amplificados de ADN (RAPDs), por otro lado Zamora *et al.* (2002), utilizaron AC y Análisis de Componentes Principales para establecer relaciones entre variables, reducir dimensionalidad de datos, analizar dispersión de materiales y agrupar genotipos semejantes de Triticales (*X. Triticosecale Witt.*) forrajeros.

Parga *et al.*, (2004), evaluaron cuatro clones con el objetivo de determinar su estabilidad de producción (91-25-4, 91-9-3, 91-10-1, 91-12-2), y como testigo las variedades comerciales Alpha y Atlantic, en diez ambientes la interacción G-I

se analizó utilizando el método AMMI, el clon 91-10-1 expreso menor IGA y su media de rendimiento supero a los testigos. Los clones 91-9-3, 91-10-1 responden igual a los testigos a los efectos de los ambientes pero con mayor rendimiento y el clon 91-25-4 responde favorablemente conforme se va mejorando las condiciones agroecológicas.

Cornelius y Crossa, citados por Rodríguez *et al.* (2005), clasificaron ambientes basándose inicialmente en la discriminación por medio del rendimiento unitario y posteriormente en la interacción genotipo x ambiente. En el primer caso es posible aplicar un análisis de varianza o de agrupamiento sin transformación de datos, usándose el agrupamiento jerárquico de mínima varianza de Ward (1963), empleando los cuadrados de las distancias euclidianas. En el estudio de la interacción genotipo x ambiente el método con mayores ventajas fue el SREG. El método es un modelo similar al AMMI, pero los términos lineales de genotipo no se consideran individualmente y se adicionan al término multiplicativo de la IGA. Es útil para la agrupación de ambientes con interacción no opuesta, es decir, ordenamiento sin cambio de genotipo en ambientes que conforman un grupo.

Sámano *et al.* (2006), cuantificaron la magnitud de la interacción genotipo-ambiente y su efecto sobre el comportamiento de 90 cruzas simples de maíz en tres localidades durante 2006. La aptitud combinatoria de líneas, probadores y cruzas por localidad para la variable rendimiento de mazorca ($t\ ha^{-1}$) fué analizada en forma combinada por el modelo AMMI para valorar la interacción genotipo-

ambiente. La selección del material genético se basó en el potencial genético y la estabilidad, a través de graficas biplot. Los resultados indicaron diferencias significativas en las cruzas, debido a la amplia variedad genética de los grupos enanos y precoces. La interacción genotipo ambiente presento diferencias significativas al considerar el rendimiento y la aptitud combinatoria general y especifica de las líneas de ambos grupos. Las gráficas biplot del modelo AMMI, mostraron una interacción cruzada entre las tres localidades de evaluación, aunque tuvieron el mismo poder de discriminación. Los híbridos 31, 26, 59, 5, 49, 86, 37, 25, 68, y 17 las líneas 9, 4,7 y 8 y los probadores 15 y 11 fueron los mejores en sus expresiones genéticas y estabilidad para el rendimiento.

González (2004), evaluó cuatro clones avanzados (91-25-4, 91-9-3, 91-10-1, 91-12-2), y como testigo las variedades comerciales Alpha y Atlantic en 10 ambientes. Se tomaron datos sobre características de rendimiento, agronómicas y de calidad, estas se analizaron mediante análisis de conglomerados (cluster analysis) y la estabilidad de producción se determinó con el método propuesto por Eberhart y Russell (1966) y el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). El modelo AMMI explicó 76.74 % de la IGA y el modelo de Eberhart y Russell (1966) el 33.33 por ciento, por tanto, el modelo AMMI superó al de Eberhart y Russell (1966) con un 130 % de IGA explicada. El análisis de la IGA mediante las dos metodologías utilizadas, identificó al clon 91-10-1 como estable, este además de los clones 91-25-4 y 91-9-3 por su gran. De los genotipos evaluados, aquellos con germoplasma mexicano tuvieron mejor

comportamiento que los introducidos, sobresaliendo el clon 91-10-1 por su estabilidad y los clones 91-25-4 y 91-12-2 por su mayor potencial de rendimiento, los cuales se agruparon en el primer conglomerado.

Parga *et al.* (2009), seleccionaron germoplasma de papa, bajo condiciones de campo por tolerancia al síndrome de punta morada, en diferentes ambientes del Norte de México. Dado lo complejo del síndrome, se seleccionaron los genotipos: Gigant, Alpha, Norteña, Bayonera, Nieder, Atlantic y los clones 91-29-10, 98-14-01, 94-02-01 y 96-01-01 por su producción y sin manchado interno de tubérculo, cuando no se controlan vectores. Por medio del método AMMI con base al rendimiento y estabilidad Se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.01$) entre ambientes, genotipos y la interacción genotipo x ambiente para todas las variables agronómicas. Los genotipos más estables en producción comercial y total fueron: 96-01-01, Bayonera y 98-14-01. El análisis de conglomerados, utilizando las características agronómicas de daño del síndrome de la punta morada y calidad, conformó tres grupos. Grupo I estuvo integrado solo por la variedad Gigant, con un rendimiento medio de 26.431 y 28.330 total y comercial $t \text{ ha}^{-1}$ respectivamente. Como características sobresalientes de este cultivar, es su resistencia al manchado de la pulpa, además de no presentar floración. El grupo II, lo conforman los genotipos Alpha, 94-02-01, 96-01-01 y 98-14-01 y el grupo III, incluye a las variedades Norteña, Nieder y Bayonera. Al comparar las características agronómicas y de calidad entre ambos grupos, no se detectó diferencia y las

características que los distinguen, es el grado de susceptibilidad en planta y tubérculo al síndrome de la punta morada.

MATERIALES Y METODOS

Ambientes.

Las evaluaciones se establecieron, en parcelas de productores cooperantes ubicados en el ejido Puerto, ejido Lirios; ambos del municipio de Arteaga, Coah., y en el ejido Tokio, municipio de Galeana, Nuevo León, todos bajo condiciones de riego. En el Cuadro 3.1, se presentan características distintivas para cada ambiente de evaluación.

Cuadro 3.1. Características de los ambientes de evaluación.

| Localidad | Condiciones | Coordenadas | Altitud (msnm) | Clima |
|---------------------------------|--|----------------------|----------------|---|
| Ejido Puerto, Arteaga, Coahuila | Riego. Con aplicación semanal de insecticidas. | 25°23' N, 100°32' O | 2700 | Los cañones de la sierra de Arteaga, el clima es templado sub-húmedo con precipitaciones todo el año, los meses más lluviosos son julio y agosto. Las heladas pueden presentarse en cualquier época del año, pero son más frecuentes de octubre a marzo con temperaturas de -8 °C. Pueden considerarse como libres de heladas los meses de junio, julio y agosto. El suelo es del tipo feozem calcáreo y su principal uso es agrícola |
| Ejido Lirios, Arteaga, Coahuila | Riego. Con aplicación semanal de insecticidas. | 25°23' N y 100°28' O | 2200 | |

| Localidad | Condiciones | Coordenadas | Altitud (msnm) | Clima |
|----------------------------------|--|------------------------|----------------|---|
| Ejido Tokio, Galeana, Nuevo León | Riego. Con aplicaciones de insecticidas a los 15 días y cada tres días, después de emergencia. | 25° 04' N y 100° 36' O | 1895 | El clima es semiseco, templado, muy extremo, con lluvia todo el año. Siendo los meses de mayo, junio y julio los más lluviosos. Las primeras heladas aparecen en octubre, aunque pueden adelantarse desde septiembre y terminan en marzo, pero frecuentemente se prolongan hasta abril. El suelo es de tipo xerosol, litosol, regosol, castañozem y rendzina, el potencial de uso es agrícola, forestal y pecuario. |

Material genético.

Se evaluaron 16 genotipos, entre ellos, 11 del Programa Nacional de Papa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); y cinco variedades comerciales introducidas, de Holanda y una de Estados Unidos de Norteamérica, variedades ampliamente utilizadas en las regiones productoras de papa en el país (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2 Germoplasma de papa evaluado en tres ambientes de producción de papa en México.

| Genotipos | No. de genotipo | Progenitores | Origen | Tizón tardío |
|-----------|-----------------|-----------------------------------|-------------|--------------|
| 02-95 | 1 | Tollocan y Alpha | México | Tolerante |
| 5-10 | 2 | Lady roseta y el clon mexicano 8R | México | Susceptible |
| 91-25-4 | 3 | Ileri x USA-4 | México | Tolerante |
| 91-29-10 | 4 | Alpha x Nebraska | México | Tolerante |
| 94-02-01 | 5 | CFE 69-1 x San José | México | Resistente |
| 96-01-01 | 6 | AEX-69-1 x Amarilla de Puebla | México | Resistente |
| 98-18-24 | 7 | Desconocido | México | Desconocido |
| 98-14-21 | 8 | Tollocan x Chata Roja | México | Resistente |
| Ágata | 9 | BM 52.72 X Sirco | Holanda | Susceptible |
| Alpha | 10 | Paul Kruger x Preferent | Holanda | Susceptible |
| Atlantic | 11 | Waeson x B5141-6 | USA | Susceptible |
| Fiana | 12 | 4062-660 x am-66-42 | Holanda | Susceptible |
| Gigant | 13 | Elvira x AM 66-42 | Holanda | Susceptible |
| NAU-6 | 14 | Desconocido | Desconocido | Susceptible |
| Norteña | 15 | Atzimba x 55-22-3 | México | Resistente |
| T97-1-165 | 16 | Modesta Blanca x 77-1A.11 | México | Resistente |

Desarrollo de los experimentos.

La fecha de siembra fue el 15 de mayo del 2012 en el ejido Lirios, 1 de junio del 2012 en el ejido Puerto y 13 de junio del 2012 en el ejido Tokio, en el ciclo primavera-verano 2012. La semilla utilizada fue de segunda categoría (35-45mm). Estableciéndolos a una distancia de 0.20 m entre planta y 0.92 m entre

surcos en parcelas de cinco metros de los cuales solo se tomó tres metros centrales como parcela útil. Se monitorearon, semanalmente a través del ciclo; los vectores paratrioza (*Bactericera cockerelli* Sulc.), pulgón (*Myzus persicae*), chicharrita (*Cicadellidae*, *Macrosteles* spp. y *Aceratagallia* spp.).

El manejo del cultivo y el control de plagas y enfermedades en las localidades de Puerto y Tokio fueron de acuerdo al programa de los productores cooperantes. En la localidad el Puerto además, se estableció una parcela de observación sin aplicación de fungicidas para la prevención y control del tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) con el objeto de evaluar la susceptibilidad de los genotipos en estudio. La evaluación de daño, fue semanalmente en por ciento desde el inicio de los primeros síntomas hasta muerte de la planta.

Para la localidad Lirios el manejo fue de acuerdo al criterio del productor y solo para el control de vectores se realizaron semanalmente aplicaciones de insecticidas con el objeto de evaluar la tolerancia de los genotipos a los vectores. En esta localidad, se evaluaron el número de plantas con síntomas del síndrome de la punta morada y se muestrearon y enviaron al laboratorio de biotecnología del Campo Experimental Rio Bravo del CIRNE, para realizar análisis de presencia de fitoplasma y *Candidatus Liberibacter solanacearum*.

El programa de aplicaciones de insecticidas en la región es de tres aplicaciones semanales. La evaluación de daño por marchitez prematura, causada

por *Fusarium spp.*, y *Colletotrichum atramentarium* (Berk et Br) Taub, así como el daño en tubérculos por el nematodo *Meloidogyne spp.*, se pudo realizar en la localidad del Tokio del municipio de Galeana, N. L., ya que, fue severa su presencia en el lote comercial en donde se estableció la parcela de evaluación. La identificación de estos organismos dañinos, se realizó en el laboratorio de fitopatología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Variables registradas.

- Altura de planta (cm).

Al desvare o muerte de la misma se registró en centímetros, desde la superficie del suelo hasta el ápice.

- Cobertura (cm).

Diámetro de la planta en centímetros a los 80 días después de emergencia, o a la muerte de planta.

- Días a Inicio de síntomas.

Días desde la emergencia a la aparición de los primeros síntomas (decoloración o enrollamiento de las hojas).

- Días a muerte de planta.

Días transcurridos desde la emergencia a muerte de la planta.

- Intervalo de síntomas a muerte de planta.

Días transcurridos al observar los primeros síntomas, a la muerte de la planta.

- Producción total por hectárea ($t\ ha^{-1}$).

Se evaluó en una superficie de $2.76\ m^2$ en kg y se transformó a $t\ ha^{-1}$. La producción se clasificó de acuerdo a las categorías del Cuadro 3.3.

- Producción comercial por hectárea ($t\ ha^{-1}$).

Se obtuvo mediante la suma de las categorías de primera, segunda y tercera (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Criterios para clasificar la papa, considerando su diámetro inferior y su forma.

| Categorías | Diámetro inferior |
|----------------|-------------------|
| Primera | > 65 mm |
| Segunda | 55-65 mm |
| Tercera | 45-55 mm |
| Cuarta | 35- 45 mm |
| Tejocote | <35 mm |
| mm= milímetros | |

- Gravedad específica (Porcentaje de sólidos).

Se tomó y lavó una muestra por el método del hidrómetro de una muestra de 3.650 kg de tubérculos medianos (50-60 mm de diámetro) por genotipo,

posterior a la evaluación de la cosecha. Se utilizó el método del hidrómetro (Gould y Plimpton, 1985). El contenido de sólidos es una medida de la gravedad específica o materia seca de la papa y su importancia radica en que influye en la eficiencia del procesamiento, la absorción de aceite y la cantidad final del producto, variable donde 14% es el valor mínimo aceptado por la industria.

- Calidad de hojuela.

De los tubérculos evaluados para sólidos se tomó una muestra de 20 tubérculos, los cuales fueron partidos a la mitad y del centro se tomaba una rodaja y se freían en freidor eléctrico a una temperatura de 180°C. El aceite utilizado fue de girasol. A las hojuelas, se les evaluó la decoloración o quemado, transformándolos en porcentajes de calidad indeseable.

Plantas con punta morada.

Este parámetro se evaluó en la localidad de los Lirios y se contabilizó el número de plantas con síntomas del síndrome de la punta morada en las tres repeticiones.

Manchado interno de tubérculo.

Se tomó una muestra de diez tubérculos de las tres repeticiones donde se evaluó el manchado o pardeamiento de los mismos, convirtiéndolo en porcentajes en relación al total.

Análisis estadístico.

Para cada ambiente se realizó un análisis de varianza, para las variables de rendimiento comercial y total, bajo el diseño de bloques completos al azar (Cuadro 3.4.), en base al siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ij} = m + b_i + t_j + e_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Producción comercial o total del j-ésimo tratamiento en la i-ésima repetición.

m = Efecto de la media general del experimento.

b_i = Efecto del i-ésimo bloque o repetición.

t_j = Efecto del j-ésimo tratamiento.

e_{ij} = Error experimental.

Cuadro 3.4. Forma de análisis de varianza de bloques completos al azar.

| Fuentes de variación | Grados de libertad | C.M. |
|----------------------|--------------------|------|
| Repeticiones | $(r - 1)$ | M3 |
| Tratamientos | $(t - 1)$ | M2 |
| Error experimental | $(t - 1) (r - 1)$ | M1 |
| Total | $tr - 1$ | |

El rendimiento total y comercial se analizó, como bloques al azar combinado sobre ambientes, para determinar la existencia de la interacción genotipo x ambiente (IGA) y obtener así información sobre los ambientes de prueba y genotipos. Se consideró a los genotipos como un efecto fijo y a los ambientes como efecto aleatorio (Cuadro 3.5).

De acuerdo a lo anterior el modelo es el siguiente

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + R_j(A_i) + G_k + A_iG_k + E_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Valor observado del k-ésimo genotipo en la j-ésima repetición anidada en el i-ésimo ambiente.

μ = Efecto de la media general.

A_i = Efecto del i-ésimo ambiente.

$R_j(A_i)$ = Efecto de la j-ésima repetición anidada en el i-ésimo ambiente.

G_k = Efecto del k-ésimo genotipo.

A_iG_k = Efecto de la interacción del i-ésimo ambiente en el k-ésimo genotipo.

E_{ijk} = Efecto del error experimental.

Cuadro 3.5. Forma de análisis de varianza de bloques completos al azar combinado sobre localidades.

| Fuentes de variación | G.L. | C.M. |
|------------------------|------------------|------|
| Ambientes | $l - 1$ | M5 |
| Repeticiones/ambientes | $(r - 1)l$ | M4 |
| Genotipos | $t - 1$ | M3 |
| Ambientes*genotipos | $(l - 1)(t - 1)$ | M2 |
| Error experimental | $(r - 1)(t - 1)$ | M1 |
| Total | $rtl - 1$ | |

Una vez confirmada la existencia de IGA, ésta se analizó mediante el método propuesto por Zobel *et al.* (1988) de análisis de los efectos principales aditivos e interacciones multiplicativas (AMMI), el cual primero ajusta los efectos aditivos para genotipos y ambientes mediante el procedimiento usual del análisis de varianza, y entonces ajusta los efectos multiplicativos para la interacción genotipo-ambiente mediante el análisis de componentes principales (ACP). que funciona bajo el modelo siguiente:

$$y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + R_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Rendimiento del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente.

μ = Media general.

g_i = Media de j-ésimo genotipo menos la media general.

e_j = Media del i-ésimo ambiente menos la media general.

λ_k = Raíz cuadrada del eigenvalor del k-ésimo eje del análisis de componentes principales (ACP).

α_{ik} y γ_{jk} = Calificaciones del ACP para el k-ésimo eje del i-ésimo genotipo y el j-ésimo ambiente, respectivamente.

R_{ij} = Residual del modelo.

Las calificaciones del ACP para los ambientes y genotipos son expresados como unidades del eigenvector correspondiente por la raíz cuadrada del eigenvalor (Zobel *et al.*, 1988). La suma de cuadrados de interacción GA, es subdividido

dentro de los ejes del ACP, donde el eje K posee $g + e - 1 - 2k$ grados de libertad, donde g y e son los números de genotipos y ambientes, respectivamente. Normalmente son retenidas en el modelo solo el primer o primeros dos componentes y los restantes son enviados al residual.

Los genotipos (o ambientes) con grandes calificaciones del ACP (cualquiera positivo o negativo) tienen altas interacciones. Se considera que los genotipos (o ambientes) con calificaciones del ACP cerca de cero, tienen pequeñas interacciones, son considerados estables y dependiendo del signo, se realiza una descripción más amplia de los genotipos y los ambientes. Se utilizó el programa propuesto por Vargas y Crossa (2000), usando el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

Análisis de Conglomerados.

Los promedios de datos agronómicos, calidad industrial y susceptibilidad a las diferentes enfermedades presentadas (muerte prematura y manchado de tubérculos) de los genotipos a través de los ambientes de prueba, se sometieron al análisis de conglomerados, utilizando el programa Statistica ver. 6.0 (2005) con el fin de establecer las relaciones entre los genotipos mediante la metodología de Ward (1963), que de acuerdo con lo descrito por Johnson y Wichern (1988) es un método jerárquico, de amplia aceptación para agrupar genotipos similares, cuya

representación gráfica de las distancias genéticas obtenidas se realiza mediante la distancia euclidiana.

Comparación de Medias.

La comparación de las medias se realizó mediante la prueba de Duncan al ≤ 0.05 por ciento de significancia; el procedimiento consiste, en el cálculo de un valor crítico y su aplicación a diferencias entre todos los pares de medias, que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$w = q_{\alpha} (p, f_e) s_y$$

dónde: q_{α} = Valores de tabla.

$p = t$ = Número de tratamientos.

f_e = Grados de libertad del error.

- s_y = Error estándar de una media de tratamiento, donde:

-
$$s_y = \sqrt{\frac{S^2}{r}}$$

s^2 = Cuadrado medio del error. r = Repeticiones de cada tratamiento

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento Comercial y Total.

El análisis de varianza combinado para el rendimiento total y comercial, detectó diferencia altamente significativa ($p < 0.01$) entre ambientes, genotipos y la interacción genotipo x ambiente (IGA); así mismo declaró altamente significativos a los dos ejes o componentes, con los cuales se explicó el cien por ciento de la IGA (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y significancia para rendimiento comercial y total en 16 genotipos de papa en tres ambientes y sus componentes principales.

| Fuente de variación | G.L. | Rend. Comercial | Rend Total |
|-------------------------|------|-----------------|------------|
| Ambiente | 2 | 0.0050** | 0.0044** |
| Repeticiones / ambiente | 6 | 0.0001** | 0.0002** |
| Genotipo | 15 | 0.0002** | 0.0002** |
| Ambiente * genotipo | 30 | 0.0001** | 0.0001** |
| CP1 | 16 | 0.0002** | 0.0002** |
| CP2 | 14 | 0.0001** | 0.0001** |
| Error | 90 | 0.00005 | 0.00006 |
| Total | 143 | | |

**Significativo al 0.01 de probabilidad.

La prueba de medias para ambientes conformó dos grupos bien diferenciados de producción (Cuadro 4.2) siendo las localidades Puerto y Lirios estadísticamente iguales (Duncan ≤ 0.05) y Tokio el segundo con la media de producción total y comercial más bajas (19.85 y 10.79 t ha⁻¹ respectivamente). En esta localidad, los rendimientos fueron afectados por la marchitez prematura causada por *Fusarium spp.*, y *Colletotrichum atramentarium* (Berk et Br) Taub, enfermedades que han ocasionado severas pérdidas económicas por disminuir la producción en más del 20% o no ser apta para el consumo por presentar necrosis en la pulpa, que baja la calidad al procesarse (Garza, 1999). Aunado, a lo anterior la alta presencia del nematodo *Meloidogyne spp.*, pudo afectar drásticamente la producción, ya que se reportan pérdidas hasta del 25% (Ames, 1980). Se puede apreciar que las enfermedades presentes en la localidad Tokio posiblemente afectaron las características agronómicas en los genotipo presentando el menor valor en variables como: días a floración y desvare, menor altura, menor cobertura y días a inicio de síntomas y muerte de la planta. Además, se presentó mayor manchado interno del tubérculo y porcentaje de hojuela indeseable.

Cuadro 4.2. Media de características agronómicas, daño por enfermedades y de calidad de las tres localidades (p-v 2012).

| Localidades | Rendimiento (t ha ⁻¹) | | | | Días a | | | Altura de tallos (cm) | N° de tallos |
|-------------|-----------------------------------|----|-------|----|------------|-----------|---------|-----------------------|--------------|
| | Comercial | | Total | | Emergencia | Floración | Desvare | | |
| Puerto | 27.20 | A* | 36.49 | A* | 18.31 | 30.31 | 104.63 | 56.89 | 5.13 |
| Lirios | 29.77 | A | 36.63 | A | 22.69 | 33.25 | 111.19 | 63.83 | 3.16 |
| Tokio | 10.79 | B | 19.85 | B | 22.88 | 29.75 | 87.06 | 49.12 | 4.59 |

| Localidades | Cobertura (cm) | Días a | | | Manchado interno de tubérculo (%) | Contenido de sólidos (%) | Hojuela indeseable (%) |
|-------------|----------------|--------------------|---------------------|-----------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|
| | | Inicio de síntomas | Muerte de la planta | Intervalo | | | |
| Puerto | 60.44 | 64.94 | 104.63 | 39.69 | 1.80 | 19.26 | 7.50 |
| Lirios | 63.91 | 66.00 | 104.50 | 38.50 | 9.40 | 19.92 | 15.63 |
| Tokio | 54.23 | 57.44 | 87.06 | 29.63 | 36.30 | 17.89 | 31.55 |

*Tratamiento con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan ≤ 0.05)

En el Cuadro 4.3, se observa que los genotipos más sobresalientes a través de las localidades por su rendimiento comercial y total fueron; 96-01-01, 02-95, Norteña, NAU-6 y Alpha. El clon 02-95 es estadísticamente superior en producción comercial (32.17 t ha⁻¹) y el clon 96-01-01 para producción total (40.19 t ha⁻¹). La variedad Agata, es la que presentó los más bajos rendimientos.

En lo referente al inicio de emergencia esta varió entre los genotipos entre 18 y 27 días, mientras que para la floración el rango fue de 28 a 40 días, siendo Alpha el cultivar más tardío (40 días). En altura de planta, los clones 05-10 y NAU-6 fueron los de porte más bajos y compactos, con menor altura y cobertura. El clon 96-01-01, presenta el mayor número de tallos (4.75) y mayor cobertura (83.31cm). Estas características están positivamente relacionadas con la producción (Borrego et al., 1999).

Para el desvare e inicio de síntomas y muerte de la planta, se observa que los genotipos más tardíos (96-01-01, 94-02-01, Norteña y 98-18-24), presentaron el mayor número de días a inicio de síntomas de las enfermedades y a muerte de la planta. Los más susceptibles a las enfermedades fueron los más precoces (Agata, Atlantic y NAU-6). Estos resultados, indican el alto riesgo de producir papa con variedades de ciclo temprano en ambientes con problemas fitosanitarios severos (Cuadro 4.3). Lo anterior, ha hecho necesario que por usar estos cultivares se utilicen intensivamente los agroquímicos (Spiertz et al., 1996; Parga 2009). Para tubérculo manchado, los cultivares Agata y Atlantic presentaron la media más alta en este parámetro.

En contenido de sólidos, todos los genotipos superan el aceptado por la industria, sobresaliendo los genotipos 91-29-10, Alpha, 94-02-01 y 02-95 con los más altos valores. Los clones, 02-95 y 96-01-01 además de presentar buen contenido de sólidos (20.66 y 19.43% respectivamente), son los que tienen el porcentaje más bajo de hojuelas indeseables (manchadas) con 8.33%. Estos genotipos, sobresalen por la producción total y comercial, por su tolerancia a la marchitez prematura y por su calidad para la industria.

Cuadro 4.3. Valores promedio de características agronómicas, daño por enfermedades y de calidad, de los 16 genotipos evaluados a través de las tres localidades (p-v 2012).

| Ambientes | Rendimiento (t ha ⁻¹) | | Días a | | | Altura de tallos (cm) | N° de tallos |
|-----------|-----------------------------------|-------------|------------|-----------|---------|-----------------------|--------------|
| | Comercial | Total | Emergencia | Floración | Desvare | | |
| 02-95 | 32.37 A* | 37.86 AB* | 23.66 | 34.66 | 101.66 | 59.53 | 4.55 |
| 96-01-01 | 29.71 AB | 40.19 A | 24.66 | 28.66 | 113.66 | 69.59 | 4.75 |
| Norteña | 27.93 ABC | 36.95 ABC | 21.00 | 39.33 | 120.00 | 62.86 | 3.94 |
| NAU-6 | 26.75 ABCD | 33.69 ABCDE | 19.66 | 36.66 | 88.00 | 36.38 | 3.55 |
| Alpha | 25.64 ABCDE | 32.46 ABCDE | 21.00 | 40.33 | 104.55 | 71.09 | 4.00 |
| Atlantic | 24.71 ABCDE | 29.75 BCDEF | 20.00 | 28.33 | 82.00 | 41.78 | 3.24 |
| 98-18-24 | 23.18 BCDEF | 34.54 ABCD | 19.33 | 38.00 | 125.66 | 80.77 | 4.17 |
| 91-25-4 | 22.90 BCDEF | 33.05 ABCDE | 19.66 | 30.66 | 99.00 | 54.58 | 3.49 |
| Gigant | 21.55 CDEF | 28.88 CDEF | 18.33 | 0.00 | 92.55 | 50.12 | 3.82 |
| 91-29-10 | 21.02 CDEF | 27.97 DEF | 21.00 | 32.00 | 101.00 | 56.87 | 3.89 |
| 98-14-21 | 20.57 CDEFG | 29.99 BCDEF | 26.66 | 28.33 | 92.66 | 57.69 | 4.08 |
| 05-10 | 19.80 CDEFG | 27.32 DEF | 21.00 | 30.33 | 94.00 | 34.67 | 3.22 |
| Fiana | 19.04 DEFG | 25.45 EF | 21.33 | 34.00 | 103.89 | 53.62 | 3.60 |
| T97-1-165 | 17.77 EFG | 29.10 CDEF | 20.00 | 34.33 | 103.66 | 65.48 | 3.20 |
| 94-02-01 | 15.66 FG | 27.20 DEF | 23.33 | 32.66 | 116.00 | 56.24 | 4.22 |
| Àgata | 12.72 G | 21.37 F | 20.00 | 29.33 | 77.00 | 54.53 | 4.33 |

| Ambientes | Cobertura (cm) | Días a | | | Manchado interno de tubérculo (%) | Contenido de sólidos (%) | Hojuela indeseable (%) |
|-----------|----------------|--------------------|---------------------|-----------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|
| | | Inicio de síntomas | Muerte de la planta | Intervalo | | | |
| 02-95 | 69.75 | 67.00 | 91.50 | 24.50 | 10.00 | 20.66 | 8.33 |
| 96-01-01 | 83.31 | 72.50 | 115.00 | 42.50 | 6.60 | 19.43 | 8.33 |
| Norteña | 71.51 | 82.00 | 119.33 | 37.33 | 6.60 | 19.30 | 13.33 |
| NAU-6 | 44.55 | 52.00 | 83.50 | 31.50 | 6.60 | 17.66 | 11.66 |
| Alpha | 62.84 | 56.00 | 94.50 | 38.50 | 13.30 | 20.73 | 31.66 |
| Atlantic | 46.09 | 50.33 | 82.00 | 31.66 | 30.00 | 17.23 | 18.33 |
| 98-18-24 | 70.29 | 88.33 | 125.66 | 37.33 | 13.30 | 18.83 | 11.66 |
| 91-25-4 | 62.86 | 51.00 | 99.00 | 48.00 | 10.00 | 18.26 | 20.00 |
| Gigant | 48.60 | 53.00 | 90.33 | 37.33 | 20.00 | 17.16 | 23.33 |
| 91-29-10 | 52.49 | 53.00 | 93.00 | 40.00 | 6.60 | 21.33 | 20.00 |
| 98-14-21 | 67.11 | 56.00 | 95.00 | 39.00 | 16.60 | 18.16 | 16.66 |
| 05-10 | 51.00 | 39.66 | 80.00 | 20.50 | 20.00 | 18.53 | 16.66 |
| Fiana | 62.04 | 60.33 | 95.66 | 35.33 | 23.30 | 19.83 | 20.00 |
| T97-1-165 | 48.80 | 68.50 | 97.00 | 28.50 | 16.60 | 17.90 | 13.33 |
| 94-02-01 | 74.48 | 70.33 | 116.00 | 45.66 | 20.00 | 20.70 | 16.66 |
| Àgata | 36.66 | 50.33 | 73.66 | 23.33 | 33.30 | 18.70 | 41.66 |

*Tratamiento con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan ≤ 0.05)

En el Cuadro 4.4, se presentan los valores de la evaluación del daño por las enfermedades presentes en cada localidad. En la localidad del Puerto se estableció una parcela sin aplicación de fungicidas para la prevención del tizón tardío, para evaluar la susceptibilidad de los genotipos en prueba a la enfermedad. Los genotipos más sobresalientes al presentar el menor daño fueron, Norteña, 96-01-01, 98-14-21 y 98-18-24 con un porcentaje de daño foliar por la enfermedad de 15, 20, 25 y 15 respectivamente. El inicio de síntomas fue alrededor de los 50 días después de emergencia en los genotipos susceptibles, sin embargo, el ambiente no fue favorable para la enfermedad ya que no continuaron las precipitaciones que favorecen a la misma y la infección fue lenta por lo que a excepción de la variedad Agata, estos genotipos lograron llegar casi a su madurez fisiológica. A excepción de la variedad Fiana, La variedad Norteña y el clon 96-01-01 superan con casi el 100 % de producción total y comercial por planta a las variedades comerciales introducidas, como se muestra en el Cuadro A.4.

Cuadro 4.4. Evaluación de daño por enfermedades presentes en tres localidades (p-v 2012).

| Genotipos | Puerto, Arteaga; Coahuila | | Lirios, Arteaga; Coahuila | | | Tokio, Galeana; Nuevo León | | |
|-----------|-----------------------------------|--------------|---------------------------------|-------------------|-----------|----------------------------|-------------------|-----------|
| | Días de inicio a infección final* | Daño final % | Inicio de síntoma punta morada* | Muerte de planta* | Intervalo | Inicio de marchitez* | Muerte de planta* | intervalo |
| 02-95 | 75-101 | 90 | 0 | 0 | 0 | 59 | 82 | 23 |
| 5-10 | 67-93 | 100 | 0 | 0 | 0 | 52 | 67 | 15 |
| 91-25-4 | 53-101 | 100 | 39 | 112 | 73 | 61 | 84 | 23 |
| 91-29-10 | 53-101 | 100 | 0 | 0 | 0 | 53 | 85 | 32 |
| 94-02-01 | 67-120 | 80 | 61 | 114 | 53 | 83 | 114 | 31 |
| 96-01-01 | 86-104 | 20 | 0 | 0 | 0 | 59 | 110 | 51 |
| 98-14-21 | 53-101 | 25 | 0 | 0 | 0 | 59 | 89 | 30 |
| 98-18-24 | 86-123 | 15 | 114 | 139 | 25 | 65 | 115 | 50 |
| Agata | 56-86 | 100 | 53 | 73 | 20 | 42 | 62 | 20 |
| Alpha | 59-107 | 100 | 0 | 0 | 0 | 53 | 82 | 29 |
| Atlantic | 56-96 | 100 | 53 | 83 | 30 | 42 | 67 | 25 |
| Fiana | 53-101 | 100 | 64 | 97 | 33 | 64 | 89 | 25 |
| Gigant | 56-96 | 100 | 58 | 98 | 40 | 45 | 77 | 32 |
| NAU-6 | 56-104 | 100 | 0 | 0 | 0 | 48 | 63 | 15 |
| Nortefia | 93-120 | 15 | 0 | 0 | 0 | 67 | 118 | 51 |
| T97-1-165 | 70-104 | 100 | 0 | 0 | 0 | 67 | 90 | 23 |

* Días después de emergencia

En la localidad de los Lirios, los genotipos que mostraron los primeros síntomas del síndrome de la punta morada y un intervalo más corto a muerte de la planta fueron: Agata, Atlantic y Gigant con 20, 30 y 40 días respectivamente; resalta el clon 91-25-4, que aunque es quien presenta los primeros síntomas, su intervalo a muerte de la planta fue mayor.

Los genotipos que presentaron plantas con síntomas de la enfermedad (total de plantas enfermas en las tres repeticiones) fueron; Fiana, 91-25-4, Gigant, 94-02-01, Agata, Atlantic y 98-18-24, siendo las variedades introducidas las que presentan mayor número de plantas con síntomas (Cuadro A.5). Los análisis de laboratorio detectaron en follaje *Candidatus Liberibacter solanacearum* y fitoplasma. La bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* estuvo presente en todos los genotipos con síntomas y ambas enfermedades en el clon 94-02-01, Agata y 98-18-24. En los genotipos Fiana, 91-25-4, Gigant y Atlantic no se detectó fitoplasma.

En tubérculo, al igual que para follaje, todos presentan la bacteria. Los resultados del diagnóstico, indican que el principal agente causal del síndrome de la punta morada en esta localidad al igual que en México (Rubio, *et al.*, 2011) y en otros países (Venkatesan *et al.*, 2010), es la bacteria, la cual es transmitida por el psílido de la papa *B. cockerelli*. En lo referente, al manchado interno de tubérculo a excepción de la variedad Gigant los cultivares introducidos presentan una relación directa con el número de plantas con síntomas. Los resultados de la presencia de *Candidatus Liberibacter solanacearum* y fitoplasma en esta localidad no fueron homogéneos, posiblemente por las bajas poblaciones de vectores (Figura 4.2), aunado a las aplicaciones semanales de insecticidas para su control. Así que, no se pueden catalogar como tolerantes los genotipos que no manifestaron síntomas del síndrome de la punta morada.

En la localidad del Tokio, se presentaron las enfermedades de *Fusarium spp.*, *Colletotrichum atramentarium (Berk et Br) Taub* y el nematodo *Meloidogyne spp.* Las primeras dos enfermedades causaron marchitez prematura en la mayoría de los genotipos, siendo los genotipos; Agata, Atlantic, Gigant y NAU-6 los que presentaron los primeros síntomas. El mayor intervalo a muerte de la planta lo presento el cultivar Norteña, 96-01-01 y 98-18-24 con 51, 51 y 50 respectivamente.

El mayor daño por marchitez se presentó en las variedades de ciclo precoz (Agata) o intermedio (Atlantic, Gigant, NAU-6 y 02-95). El daño en los tubérculos por el nematodo *Meloidogyne spp.*, fue significativo, siendo las variedades Agata, Gigant, Alpha y el clon 91-29-10 los más tolerantes con un porcentaje de daño de 20, 27, 28 y 30 respectivamente. El clon 94-02-01 fue el más susceptible con el 100% de tubérculos con síntomas. La media de daño fue significativa, ya que supero el 50% (Cuadro A.3). Es importante, prevenir la diseminación de esta enfermedad ya que complicaría la producción regional y más abuso de pesticidas para su control.

Las poblaciones de vectores en las localidades fue baja como se puede observar en las gráficas de monitoreo de vectores para cada localidad (Figura 4.1, Figura 4.2 y Figura 4.3). El Tokio presenta las poblaciones más altas, sin embargo, el programa de aplicaciones que realizo el productor cooperante (dos veces por semana) tuvo buen control de las mismas.

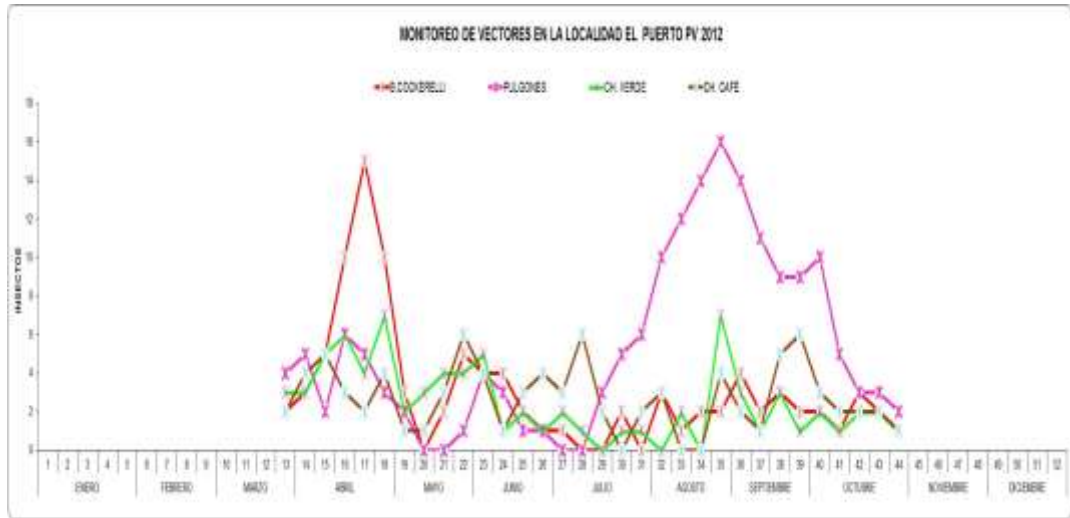


Figura 4.1. Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad Puerto del municipio de Arteaga, Coahuila.

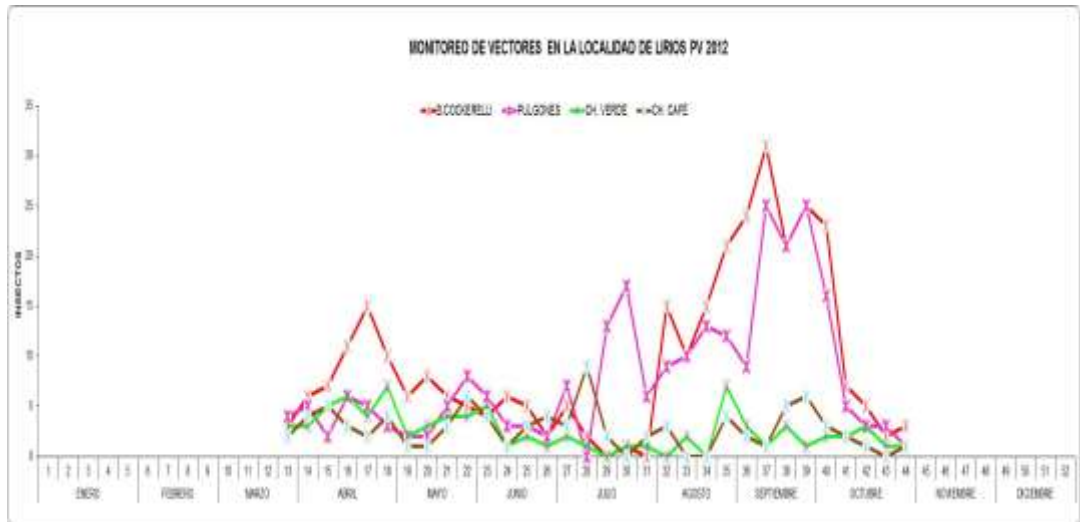


Figura 4.2. Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad Lirios del municipio de Arteaga, Coahuila.

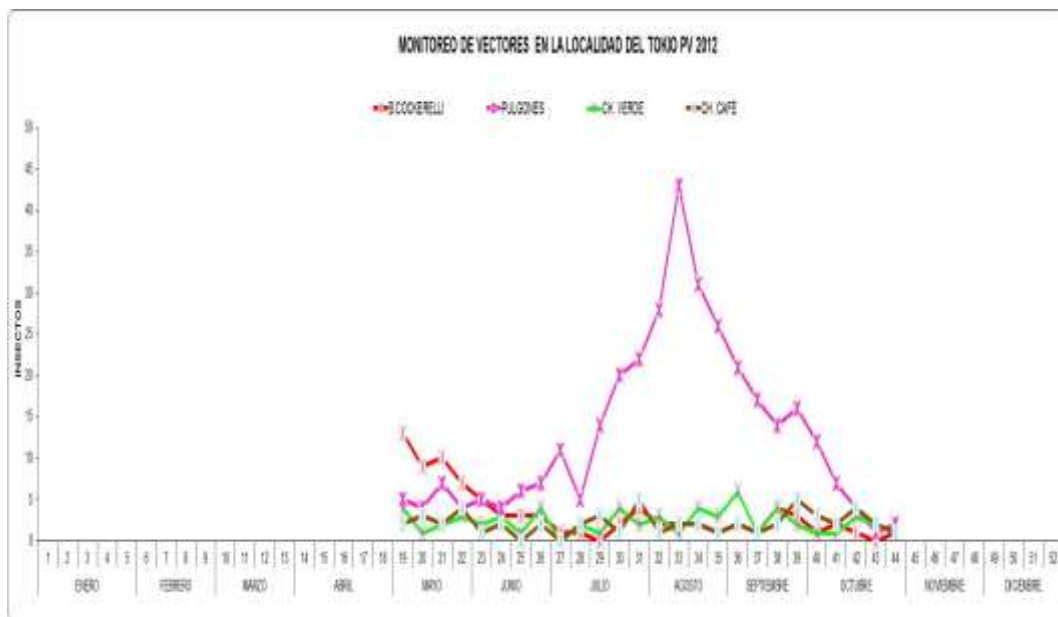


Figura 4.3. Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad Tokio del municipio de Galeana, Nuevo León.

Análisis de la Interacción Genotipo-Ambiente (IGA).

El método AMMI, reportó alta significancia, para los primeros dos componentes (CP), cuando se analizó la IGA en las variables de rendimiento total y comercial, sobresale el hecho de que los dos primeros componentes explicaron el 100% de la IGA para ambas producciones, lo cual permite explicar con certeza lo observado en esta evaluación, así, en la Figura 4.4, se observa que para el rendimiento total el ambiente de Lirios presentó el mayor poder discriminatorio para esta variable por presentar el vector de mayor longitud. Cabe mencionar que el poder discriminatorio es opuesto al presentar ángulo superior a los 90° (Crossa

et al. 1990). Además, dicha figura muestra que Puerto y Tokio también presentan diferencias en sus interacciones, indicando que no poseen el mismo poder de discriminación. De acuerdo a esto, las localidades no representan un mega ambiente, por lo que se identifican tres ambientes opuestos para apoyar en la discriminación de genotipos.

En la evaluación de tolerancia a la marchitez prematura causada por *Fusarium spp.* y *Colletotrichum atramentarium* (Berk *et Br*) *Taub*, así como por tolerancia al nematodo *Meloidogyne spp.*, se recomendaría la localidad del Tokio. La localidad Lirios se recomendaría para evaluar la tolerancia a insectos vectores y la localidad Puerto por susceptibilidad al tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) *de Bary.*). Estos ambientes están posiblemente agrupados por los factores bióticos presentes en cada uno de ellos y la susceptibilidad del germoplasma, más que por los factores abióticos.

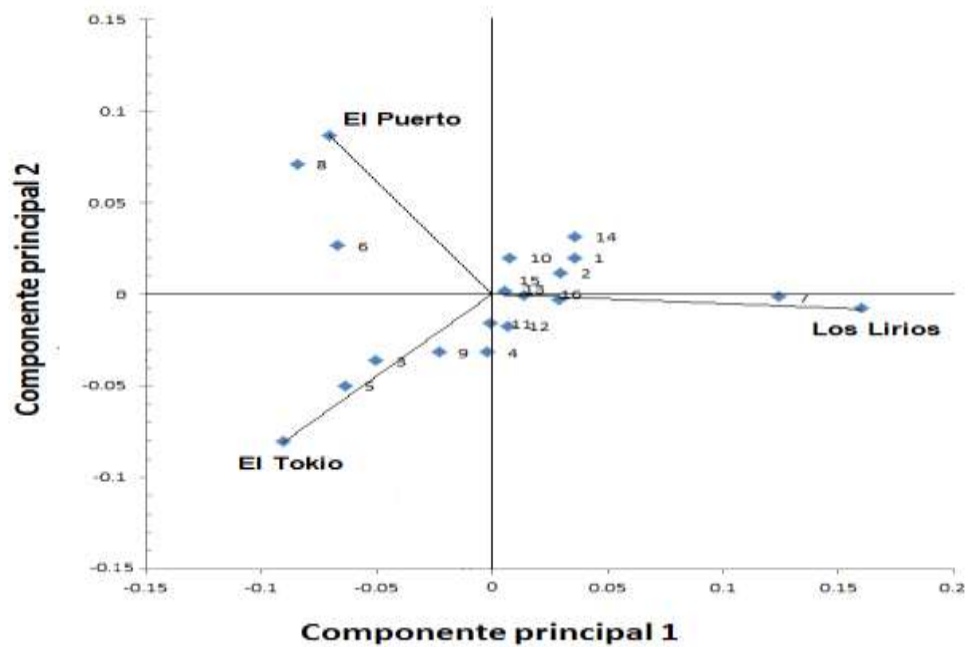


Figura 4.4. Distribución de genotipos y ambientes para el rendimiento total y los primeros dos componentes.

Los tres ambientes presentaron interacciones cruzadas, originando cada uno de ellos una clasificación diferente para los genotipos. Para Puerto, los genotipos 96-01-01 (6) y 98-14-21 (8) se asocian bien, en Lirios, los genotipos 02-95 (1), 5-10 (2), 98-18-24 (7), Alpha (10), Gigant (13), NAU-6 (14), y T97-1-165 (16) presentaron la mejor adaptación. En el Tokio, los genotipos 91-25-4 (3), 91-29-10 (4), 94-02-01 (5), Agata (9), Atlantic (11), Fiana (12) y Norteña (15), están mejor adaptados a ambientes en los que se tiene, alta incidencia de enfermedades que inducen a la marchitez prematura de la planta, al expresar mayor rendimiento total por su interacción negativa similar a la de esta localidad. En la misma figura se observa que la variedad Norteña (15) expresó la menor

interacción, al ubicarse más cerca de la intersección de las líneas que cruzan en el punto cero de ambos componentes, considerándose estable y seguida por Gigant (13) con interacciones pequeñas y positivas.

En la Figura 4.5, se observa que al graficar los genotipos y ambientes en el plano obtenido con el rendimiento total y el CP1, se distinguen cuatro grupos de genotipos integrados con base en su rendimiento y estabilidad. El primer grupo, lo conforman los genotipos 02-95 (1), 98-18-24 (7), Alpha (10), NAU-6 (14) y Norteña (15) con rendimiento total por encima de la media general (30.896 t ha^{-1}) e interacciones positivas. Conforme a la interpretación AMMI, se consideran como inestables por presentar coeficientes de CP1 altos y positivos. Los genotipos, que integran el segundo grupo, son los clones 91-25-4 (3) y 96-01-01 (6) con rendimientos superior a la media pero con interacciones negativas, por lo que su comportamiento es inestable y tiende a rendir menos de lo predicho. El grupo tres, es formado por los genotipos 5-10 (2), Fiana (12), T97-1-165 (16) y Gigant (13) con rendimiento inferior a la media, pero con interacción positiva. Estos genotipos pueden responder bien conforme el ambiente de producción (biótico y abiótico) sea deseable. El grupo cuatro, está conformado por los genotipos 91-29-10 (4), 94-02-01 (5), 98-14-21 (8), Agata (9) y Atlantic (11) se consideran como inestables por presentar coeficientes de CP1 altos y negativos, que muestran medias de rendimientos a través de ambientes por debajo de la media general. El clon 98-14-21 (8) fue el más inestable por su mayor interacción negativa. Los genotipos más deseables por su producción total y baja interacción con el ambiente fueron; Alpha

(10) y Norteña (15), genotipos que son deseables para la producción, ya que en la medida en que se pueda desarrollar clones con escasas interacciones con el ambiente o de reacción gradual y respuesta a la mejora de las condiciones del ambiente y con buenos rendimientos, se habrán obtenido genotipos apropiados para la producción (Wissar y Ortiz 1987).

Con relación a los ambientes, se muestran dos grupos: el primero incluye a Lirios y Puerto con interacciones positivas y alta producción promedio para la primera localidad y casi similar para la segunda pero con interacciones negativas por lo que se catalogan como ambientes deseables para la producción de papa, con la salvedad de que el Puerto provoca interacciones negativas, por lo que su producción es inestable.

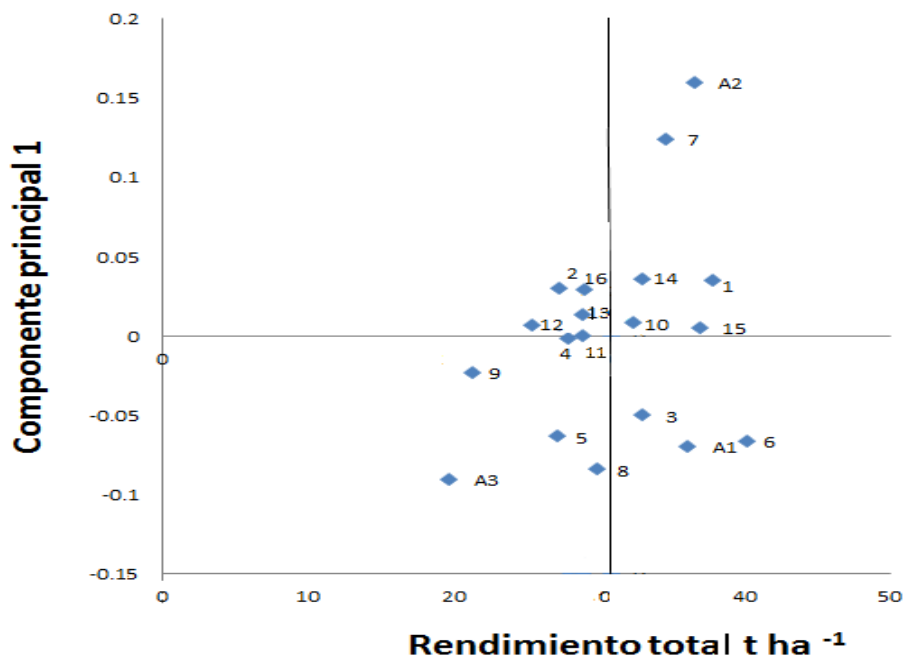


Figura 4.5 Distribución de genotipos y ambientes con base al rendimiento total y el primer componente.

La IGA de la producción comercial se aprecia en la Figura 4.6, donde aparece la interacción mostrada por los ambientes y genotipos; así para las localidades Lirios y Tokio, se observa diferencia en la longitud de sus vectores y son opuestos en su poder discriminatorio al presentar ángulo superior a los 90°. En esta figura se detectan efectos contrastantes en las tres localidades al igual que sucedió para el rendimiento total, ya que por su interacción cruzada, originan una clasificación diferente en los genotipos.

Los genotipos 02-95 (1), 5-10 (2), 98-18-24 (7) y NAU-6 (14), tuvieron mejor comportamiento en la localidad Lirios. Para la localidad Puerto, los

genotipos que mejor se expresaron fueron; 96-01-01 (6), 98-14-21 (8), Alpha (10) y Norteña (15). Los genotipos, 91-29-10 (4), Agata (9), Atlantic (11), Fiana (12), Gigant (13) y T97-1-165 (16), se adaptan a las localidades Lirios y Tokio, al estar intermedio su posición en ambas localidades. De acuerdo a esto, los genotipos pudieron expresar mejor rendimiento comercial debido probablemente que son de madurez intermedia a semitardía y pudieron producir tubérculos comerciales en menor tiempo. Para el Tokio los genotipos, 91-25-4 (3) y 94-02-01 (5) expresaron mejor su producción comercial. Los genotipos Gigant (13), 91-29-10 (4) y Atlantic (11) fueron los más estables.

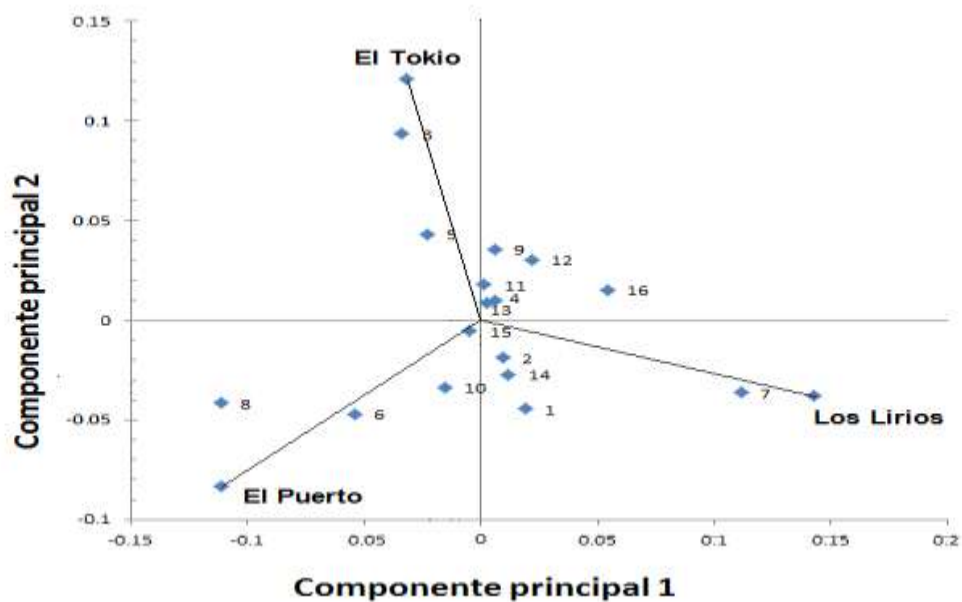


Figura 4.6. Distribución de genotipos y ambientes para el rendimiento comercial y los primeros dos componentes.

Al graficar con base en el rendimiento comercial y el CP1 (Figura 4.7), se obtuvieron cuatro grupos de genotipos con base a su rendimiento y estabilidad. El primer grupo, está conformado por los genotipos 02-95 (1), 98-18-24 (7), Atlantic (11) y NAU-6 (14) con rendimiento comercial superior a la media (22.518 t ha^{-1}) e interacciones positivas. A excepción de la variedad Atlantic (11), los genotipos complementarios del grupo, superan y presentan también interacción alta y positiva para el rendimiento total, por lo que son definidos como inestables. El grupo dos, lo integran los genotipos 91-25-4 (3), 96-01-01 (6), Alpha (10) y Norteña (15), que a pesar de obtener rendimiento comercial superior a la media se consideran como inestables por presentar coeficientes de CP1 altos y negativos.

El grupo tres, está conformado por los genotipos 5-10 (2), 91-29-10 (4), Agata (9), Fiana (12), Gigant (13) y T97-1-165 (16) con producción menor a la media y con interacciones positivas, por lo que se definen como inestables. Los genotipos 5-10 (2), Fiana (12), Gigant (13) y T97-1-165 (16) al igual que en el rendimiento total, pueden mejorar su producción comercial conforme mejore el ambiente de producción. El grupo cuatro, consiste de los genotipos 94-02-01 (5) y 98-14-21 (8) los cuales se consideran inestables por presentar interacción negativa y media de producción menor al promedio.

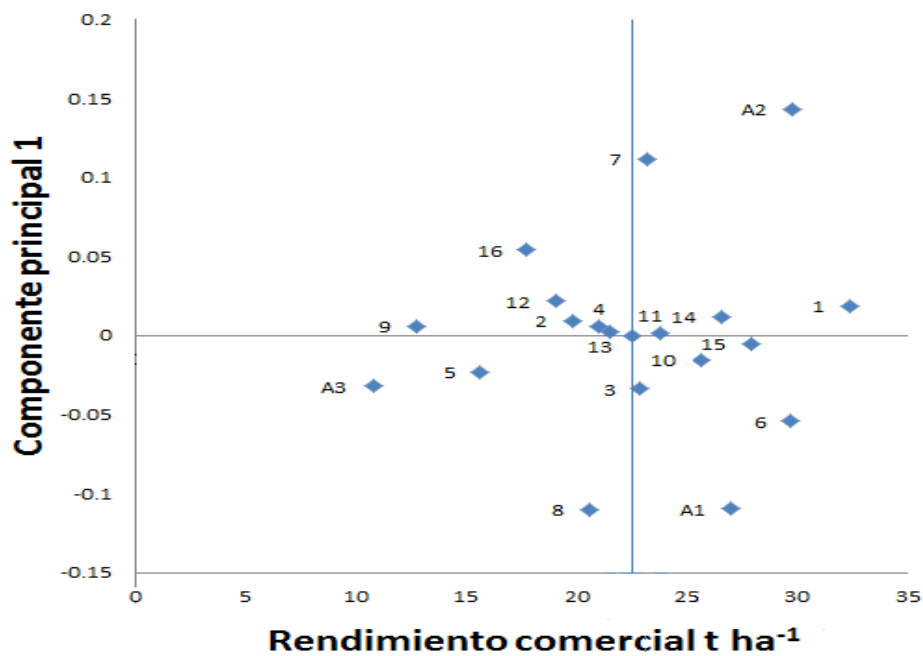


Figura 4.7. Distribución de genotipos y ambientes con base al rendimiento comercial y el primer componente.

Con respecto a los ambientes presentan el mismo comportamiento que el del rendimiento total, mostrando dos grupos. El primero incluye a Lirios y Puerto con interacciones positivas y alta producción promedio para la primera localidad y casi similar para la segunda pero con interacciones negativas por lo que se catalogan como ambientes deseables para la producción de papa. El Tokio conforma el segundo ambiente y clasificado como inestable con coeficientes altos y negativos.

Los ambientes presentaron el mismo patrón de comportamiento en sus interacciones para ambas producciones, esto puede ser debido a que las localidades

de Lirios y Puerto tienen en común que están ubicadas a altitudes mayores de 2000 msnm y se condujeron bajo condiciones de riego (Cuadro 3.1). El Tokio clasificado para ambas producciones como inestable con producciones inferiores a la media y coeficientes altos y negativos, pudo haber obtenido esta clasificación debido a la alta incidencia de las enfermedades: *Fusarium spp.*, *Colletotrichum atramentarium* (Berk et Br) Taub y la presión del nematodo *Meloidogyne spp.* que en conjunto hacen de esta localidad el ambiente más adverso, de los evaluados, para la producción de papa.

Análisis de Conglomerados.

El análisis de conglomerados resultó ser una herramienta útil ya que agrupó a aquellos genotipos similares en base a las características evaluadas (Cuadro 4.5); mostrando cinco grupos de interés (Figura 4.8).

Cuadro 4.5. Valores promedio por grupo de características agronómicas, daño por enfermedades y de calidad de 16 genotipos (p-v 2012).

| Características | Grupos de genotipos | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|-----------|------------|-----------|----------|
| | I (5) | II (2) | III (1) | IV (5) | V (3) |
| Comercial (t / ha ⁻¹) | 23.47 | 23.17 | 29.71 | 21.74 | 19.36 |
| Total (t / ha ⁻¹) | 31.48 | 30.17 | 40.19 | 31.44 | 26.39 |
| Días después de emergencias | 22.46 | 20.33 | 24.66 | 20.93 | 19.44 |
| Días a floración | 33.93 | 33.50 | 28.66 | 34.93 | 19.22 |
| Altura de tallo (cm) | 62.13 | 35.52 | 69.58 | 61.62 | 48.81 |
| N° de tallos | 4.98 | 3.38 | 4.75 | 4.15 | 3.80 |
| Cobertura (cm) | 60.20 | 47.77 | 83.31 | 68.24 | 43.78 |
| Días a desvare | 100.71 | 91.00 | 113.66 | 112.91 | 83.85 |
| Inicio de síntomas (días) | 60.10 | 45.83 | 72.50 | 70.40 | 51.22 |
| Muerte de la planta (días) | 94.20 | 81.75 | 115.00 | 111.11 | 81.96 |
| Intervalos (días) | 34.10 | 36.00 | 42.50 | 40.71 | 30.74 |
| Manchado interno de tubérculo (%) | 12.60 | 13.30 | 6.60 | 1.46 | 2.77 |
| Contenido de sólidos (%) | 19.76 | 18.10 | 19.43 | 19.38 | 17.70 |
| Hojuela indeseable (%) | 18.00 | 14.16 | 8.33 | 16.33 | 27.77 |

El grupo I está integrado por los genotipos 02-95, 91-29-10, T97-1-165, 98-14-21 y el cultivar Alpha. Estos genotipos tienen en común la madurez semitardía y la relación estrecha de los clones 02-95 y 91-29-10 con Alpha es porque este cultivar participa como progenitor en ambos genotipos.

El grupo II, está conformado por los clones 5-10 y NAU-6. La diferencia entre los grupos I y II está dada por las características agronómicas al presentar el grupo II plantas compactas ya que los genotipos que los conforman son 5-10, 02-95, NAU-6, Alpha y 91-29-10 (Rubio y Cadena, 2011; Parga, 2009) presentan menor susceptibilidad al manchado de tubérculo. El grupo III es conformado solo por el clon 96-01-01. Considerando que altura, número de tallos y madurez de la planta son reportados componentes del rendimiento (Borrego *et al.*, 1999), posiblemente por estas características obtuvo la mayor producción comercial y total. Aunado, a lo anterior, este clon presento tolerancia a las enfermedades presentes en las tres localidades.

Dentro del grupo IV están los genotipos 91-25-4, Fiana, 94-02-01, 98-18-24 y la variedad Norteña. Este grupo, al igual que el grupo III está integrado por genotipos con resistencia o mayor tolerancia al tizón tardío, así como más tardíos en el inicio de síntomas de las enfermedades presentes en las localidades de evaluación y a excepción del clon 91-25-4 son más tardío a madurez fisiológica. En el grupo V, se localizan las variedades Agata, Atlantic y Gigant, cuya característica principal es que son de ciclo temprano y más susceptibles a las enfermedades. Como característica sobresaliente del cultivar Gigant es su resistencia al manchado de la pulpa, causado por fitoplasma (Cadena, 1996) o *Candidatus Liberibacter psyllaourous* (Rubio *et al.*, 2011), que indican dicha cualidad, además de no presentar floración (Cuadro A.2). El manchado de tubérculo en esta variedad se presentó solo en la localidad del Tokio (Cuadro A.3)

y fue causado por *Fusarium spp.*, y *Colletotrichum atramentarium* (Berk et Br) *Taub*, coincidiendo con Garza (1999).

Las variedades Atlantic y Agata presentaron el mayor número de tubérculos manchados en las localidades de Lirios y Tokio (Cuadro A.1 y A.2), siendo las más susceptibles a las enfermedades presentes para cada localidad y presentando en general menores valores para las características agronómica, mayor porcentaje de hojuelas indeseables (27.78%) y bajo contenido de sólidos (17,7 %), coincidiendo con lo reportado por Parga (2009) para la variedad Atlantic.

Se ha mencionado un parentesco cercano entre todos los cultivares norteamericanos así como entre los europeos, ya que no se ha hecho un esfuerzo técnico importante encaminado a ampliar su base genética, de tal forma que cuando se usan estos cultivares en el mejoramiento genético, la progenie resultante tendrá algún grado de endogamia, lo que puede reducir su rendimiento y estabilidad (Estrada, 1999), esta situación aunada a las condiciones biótica y abióticas adversas para las que no fueron generadas, ha favorecido la fuerte dependencia en el uso de agroquímicos para asegurar la producción. Situación favorecida por la baja resistencia a las enfermedades y a la falta de adaptación de los cultivares a las condiciones adversas (Spiertz *et al.*, 1996).

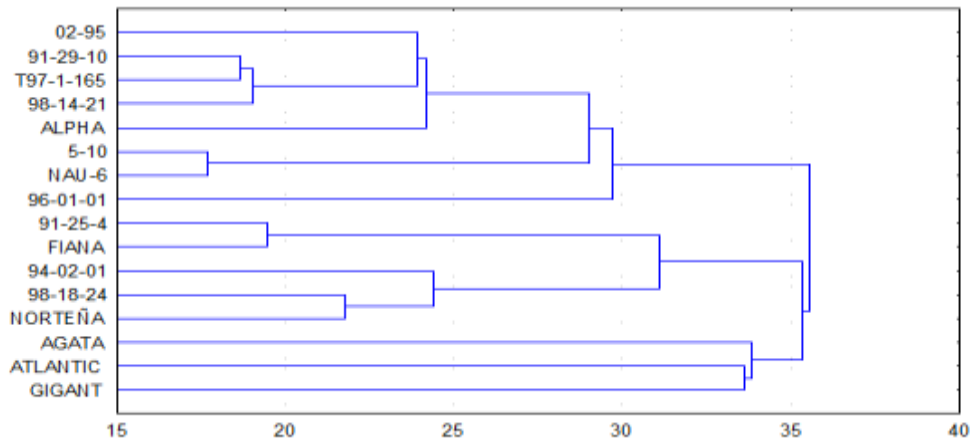


Figura 4.8. Agrupamiento de genotipos en base a características agronómicas y estabilidad de producción.

CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que el uso de algunas variedades introducidas sigue siendo un grave problema en la producción de papa en el Noreste de México, tanto por las pérdidas que ocasionan en producción como en calidad, debido a la susceptibilidad a los principales problemas bióticos y abióticos, que favorecen al síndrome de la punta morada. Debido a lo anterior, los productores tienden a aplicar altas dosis de fertilización y a realizar frecuentes aplicaciones de pesticidas para obtener producción comercial y calidad deseable. Esta situación ha incrementado el riesgo de pérdidas y costos del cultivo.

Los genotipos más estables para el rendimiento comercial y total, que responden positivamente conforme se mejora el ambiente de producción fueron: Norteña, Alpha y el clon 02-95.

Existe suficiente variabilidad genética entre los genotipos evaluados, hecho sugerido por las diferencias detectadas en la presente evaluación.

Dentro de los grupos generados, el grupo cinco conformado por las variedades introducidas de ciclo temprano: Agata, Atlantic y Gigant fueron las más susceptibles a las enfermedades presentes en la región.

El clon 96-01-01 ubicado en el grupo tres como único integrante, es el que presenta tolerancia a las enfermedades evaluadas, mejores características agronómicas y calidad, puede utilizarse en la generación de germoplasma por tolerancia al síndrome de la punta morada.

Es urgente trabajar en el manejo integrado de vectores e iniciar el mejoramiento de poblaciones de papa por resistencia múltiple, como la alternativa más viable y económica para una producción sustentable de papa.

BLIBLIOGRAFIA

- Agrios, G. N. 1996. Fitopatología. 2da. Edición. Editorial Limusa. México. 838 p.
- Allard, R.W. and Bradshaw, A.D. 1964. Implications of genotype interactions, in applied plant breeding. *Cop Sci.* 4:503-507
- Almeyda, LIH; Rubio, O; Cárdena, H.M.A; Díaz, M; Zavala. T. E; Rocha, PMA; Díaz. A. 1999. Implementación de técnicas moleculares para la detección del agente causal de la punta morada de la papa en plantas e insectos vectores. Proyecto de investigación, laboratorio de patología molecular-Monterey, INIFAP, p. 19
- Ames, I. T. 1980. Compendio de enfermedades de la papa. Centro Internacional de la Papa. Lima , Peru.166p.
- Año Internacional de la Papa (AIP). 2008
<http://www.potato2008.org/es/index.html> consultado el 12/10/2012
- Borrego, E. F., Fernández, B.J M., López B. A., Parga, T. V. M., Murillo, S. M. y Carvajal, A. A. 1999. Correlación y componentes principales de variación en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomía Mesoamericana.* Vol 10:1-7.

- Bradshaw, A.D. 1965. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plant. *Advances in Genetics*. 13: 115-116.
- 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., E. T., Magaña-Torres, 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(3):248-259.
- Cázares, 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.
- Comité Nacional Sistema Producto Papa (CONPAPA). 2012. Ficha Técnica del Sistema Producto Papa, Monografía del Sector Papa <http://www.conpapa.org.mx/Ficha.html> consultado el 12/10/2012

- Coutiño E., B., y V. A. Vidal. 2003. Estabilidad del rendimiento de grano de híbridos de maíz usando mejores predictores lineales insesgados. *Agrociencia* 37:605-616.
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. *Adv. Agron.* 44:55-85.
- Crossa, J., H. G. Gauch and R. W. Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30: 493-499.
- Crossa, J., P.N. Fox, W. H. Pfeiffer, S. Rajaram, and H. G. Gauch. 1991. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. *Theor. Appl. Genet.* 81:27-37.
- Cruz, M. R. 1992. Generalización de modelos para el análisis de la interacción genotipo-ambiente. *Rev. Fitotec. Mex.* 15(2) 149-158.
- Ebdon, J. S., A. M. Petrovic and R. W. Zobel. 1998. Stability of evapotranspiration rates in Kentucky Blue grass cultivars across low and high evaporative environments. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Eberhart, S. A. and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- 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.

- Espinoza, B.A. 1986. Interacción genotipo-ambiente y número óptimo de ambientes en la selección varietal de girasol (*Helianthus annuus L.*). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 71p.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). 2012. Candidatus *Liberibacter solanacearum*, http://www.eppo.int/QUARANTINE/Alert_List/bacteria/Liberibacter_psyllaeus.htm, consultado el 17/1/2013)
- Finlay, K.W. and Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Aus. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- Flores, O. A., N. I. A. Alemán y Z. M. I. Notario. 2004. Alternativas para el manejo de la punta morada de la papa. Simposio Punta Morada de la Papa. XXI Semana del Parasitólogo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- García, de los S.G. y J.J. Steiner. 2003. Diversidad genética en *Lotus corniculatus L.* determinada por caracteres morfológicos y RAPDs. *Rev. Fitotec. Mex.* 26:3:173-182.
- García, S. J. y E. S. Olivares. 2001. Diagnóstico nutricional para el cultivo de papa en Coahuila y Nuevo León. Memoria del IX Congreso Nacional del Soc. Mexicana de Ciencias Hortícolas. Oaxtepec, Mor. 81 p.
- García-Quijano, J. R. 1996. Etiología y transmisión del oscurecimiento del tubérculo de la papa (*Solanum tuberosum L.*) para industria. Tesis de

- Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 65 p.
- Garza, L. J. C. 1999. Control de la marchitez de la planta y necrosis interna del tubérculo en papa en Coahuila y Nuevo León. Folleto Técnico No. 1. Campo Experimental Saltillo-CIRNE-INIFAP.
- Garzón-Tiznado, J., Velarde-Felix, S., Ceballos-Ruiz, J. A., Garzón-Ceballos, J. A., Moreno-Coronado, J. A., Ramos-Mendoza, J. y Felix-Aguilar, B. 2004. Asociación de fitoplasmas en los cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.), tomate (*Lycopersicon esculletum* Mill.), chile (*Capsicum annuum* L.) y tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) en México. Memorias del XXXI Congreso Nacional de Fitopatología. VI Congreso Internacional de Fitopatología, Veracruz, México, 25-28 de Julio de 2004. p71.
- González V. V. M. 2004. Estabilidad de Producción Comercial y Agrupamiento de Clones Avanzados de Papa en el Noreste de México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México, p 35-44
- Gould, W. A. and S. Plimpton. 1985. Quality evaluation of processing. Ohio Agricultural Research and Development. pp. 1-24. (Bulletin # 1172).
- Guigon, L. C. 1994. Epidemiología de las enfermedades de la papa causadas por hongos fitopatógenos del suelo en el sur de Coahuila y Nuevo León. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. 103 p.

- Hansen, A. K., Trumble, J. T., Stouthamer, R. And Paine, T. D. 2008. New Huanglongbing (HBL) *Candidatus species*, *C. Liberibacter psyllaurens*, found to infect tomato and potato is vectored by the psyllid *Bactericera cockerelli* (Sulc). Appl. Environ. Microbiol. In press.
- Johnson, R.A. and D.W. Wichern. 1988. Applied multivariate statistical analysis. Second edition. Ed. Prentice Hall. New Jersey. USA. 607p.
- Lerner, I.M. 1954 a. Genetic Homeostasis. John Wiley and Sons Inc. New York. 298 p
- Lerner, I.M. 1954 b. Genetic Homeostasis. London. Oliver and Boyd.
- Lin, C.S., M.R. Binns and L.A. Lefkovitch. 1986. Stability Analysis: Where Do We Stand? Crop Sci. 26 (5): 894-899.
- Manly, B.F.J. 1986. Multivariate statistical methods: A Primer Ed. Chapman and Hall. London. 160p.
- Maramorosch, K. 1998. Potato purple top wilt. Memorias del 2° Simposio Internacional de la Papa. Toluca, Edo. de México. pp. 21-31.
- Márquez, S.F. 1970. El problema de la interacción genético ambiental en genotecnia vegetal. PATENA, A.C. Chapingo, México. P. 113.
- Martínez. S. J. P; Leyva. L. N. E; Aviña. P. K; Ochoa. S. J. C. 2007. La punta morada de papa en México. Claridades Agropecuarias. P. 27
- Moctezuma, G. R. 2005. Hongos de suelo y su asociación con el síndrome de la punta morada en papa en Coahuila y Nuevo León. Tesis de Maestría en

- Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. 63 p.
- Moll, R.H. and Stuber C.W. 1974. Quantitative genetics-empirical results to plant breeding. *Advances in Agronomy*. 16: 277-313.
- Nelson E. R. 2000 La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa PROINPA/ CID/ CIP, La Paz, Perú. p. 26-36
- Parga. T. V. M. 2009. Evaluación, selección y caracterización de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L), tolerantes al síndrome de la punta morada, Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista. Coahuila. México. p. 60-71 - 72.
- Parga TVM, Zamora VVM, Borrego EF; 2009. Selección, estabilidad y caracterización de genotipos de papa tolerantes al síndrome de la punta morada. IV Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Saltillo Coahuila, México.
- Parga TVM, Zamora VVM, Villavicencio GEE. 2004. Respuesta de clones avanzados de papa a diferentes ambientes de evaluación. XX Congreso Nacional de Fitogenética. Toluca, México. Septiembre, 2004
- Parga, T. V. M., Zamora, V. V M., Covarrubias, R. J. M., Borrego, E. F., López, B. A. y Almeyda, L. I. H. 2008. Programa de mejoramiento genético por resistencia múltiple al síndrome de la punta morada de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Memoria del XII Congreso Nacional de Papa. Mochis, Sinaloa, México. 78 p.

- Parga. 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.
- Raman, K. V. 1985. Transmisión de virus de papa por áfidos. Boletín de Información Técnica 2. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 23 p.
- Ramos, V. O., A. A. Sánchez, O. A. Flores y L. H. I. Almeyda. 2003. Detección de agentes bióticos asociados al síndrome de la enfermedad de punta morada de la papa. Memorias del Congreso Internacional Panamerican Conference on Plant Diseases. South Padre Island, Texas. U.S.A. p.32.
- Rodríguez P. J. E., Sahagún C. J., Villaseñor M. H. E., Molina G. J. D, Martínez. G. A. 2005. La interacción genotipo x ambiente en la caracterización de áreas temporales de producción de trigo. Agrociencia. 39(1): 51-64.
- Rubio, C. O. A. 1998. Manejo Integrado de la nutrición del cultivo de la papa. Memorias del 2° Simposium Internacional de la Papa. Toluca, México.
- Rubio-Covarrubias O. A., Almeyda-León I. H., Cadena-Hinojosa A. M. y Lobato Sánchez R. 2011. Relación entre *Bactericera cockerelli* y la presencia de *Candidatus Liberibacter psyllae* en lotes comerciales de papa. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2(1):17-28.
- Rubio Covarrubias O.A. y Cadena Hinojosa M.A. 2011. Validación de clones y variedades tolerantes al pardeamiento interno del tubérculo provocado por el complejo de la punta morada de la papa en el Estado de México. Informe de investigación. Sitio Experimental Metepec INIFAP.

Sámano Garduño D., De León Castillo H. Burciaga Vera G. A., González Guajardo M.E. y De la Rosa Loera A. 2006. Interacción genotipo-ambiente de cruza simples entre dos grupos germoplásmicos de maíz contrastantes. Libro Científico Anual, Agricultura, Ganadería y Ciencias Forestales en la UAAAN. Saltillo, Coahuila; México

Santiago, C. V. 2004. Epidemiología de la punta morada de la papa en la región sur de Coahuila y Nuevo León, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

SAS Institute Inc. 2002. SAS/STAT User's Guide. Versión 9.0. SAS Institute Inc., Cary, N.C.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP, 2011. Cierre de la producción agrícola por cultivo http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350 consultado el 12/10/2012

Spiertz, J. M. J., A. Havercot and P. M. Verelken. 1996. Environmentally safe and consumer-friendly potato production in the Netherlands. Development of ecologically sound production systems. Potato Res. 39: 371-378.

Statistica. 2005. Statistica (data analysis software system). Version 6.0. Statsoft Inc. www.statsoft.com

- Vargas, H. M. y J. Crossa. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del biplot en SAS. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Unidad de Biometría. México, D.F., México
- Venkatesan, G.S.; Munyanesa, J.E.; Crosslin, J.M.; Buchman, J.L.; Pappu, H.R. 2010. Phenotypic and etiological differences between psyllid yellows and zebra chip of potato. *Am. J. Potato Res.* 87:41-49.
- Ward, J.H. Jr. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Stat. Assoc.* 58:236-244.
- Wissar, R. y R. Ortiz. 1987. Mejoramiento de papa en el Centro Internacional de la Papa por adaptación a climas cálidos tropicales. Lima, Perú. 26 p. (Doc. De Tecnología Especializada No. 22).
- Wricke, 1962. Über eine method zur erfassung der okal ogisehen streubrechte in feld vershchen. *Z. PFLXCHT.* 47: 92-96
- Yan, W., L. A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597–605.
- Yan, W., P. L. Cornelius, J. Crossa, and L. A. Hunt. 2001. Two types of GGE for analyzing multi-environmental trial data. *Crop Sci.* 41:656-663.
- Zamora, V.V.M, del R.A.J. Lozano, B.A. Lopez., V.M.H. Reyes. S.H. Díaz. R.J.M. Martínez. y R.J.M. Fuentes. 2002. Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. *Téc. Pecu Méx.* 40:3:229-242.

Zobel, R. W., M. J. Wright and H.G. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80: 388-393.

Zósimo H. 1986, *Botánica Sistemática y Morfología de la Papa* 2a ed., revisada Lima, Centro Internacional de la Papa, 1986. 22 pp. (Boletín de información Técnica 6)

APÉNDICE

Cuadro A.1. Cuadro con los valores de medias de las características agronómicas, daño por enfermedad y de calidad en 16 genotipos evaluados en la localidad Puerto, Arteaga, Coahuila (p-v 2012).

| Genotipos | Rendimiento (t ha ⁻¹) | | Días a | | | Altura de tallo (cm) | N° de Tallos |
|-----------|-----------------------------------|------------|------------|-----------|---------|----------------------|--------------|
| | Comercial | Total | Emergencia | Floración | Desvare | | |
| 96-01-01 | 44.26 A* | 53.74 A* | 17 | 22 | 120 | 88.33 | 6.47 |
| 98-14-21 | 41.06 AB | 50.48 AB | 20 | 22 | 101 | 42.60 | 5.13 |
| 02-95 | 38.58 ABC | 43.47 AB | 20 | 35 | 101 | 64.67 | 5.13 |
| Alpha | 34.78 ABCD | 40.03 ABCD | 14 | 39 | 107 | 72.67 | 6.93 |
| Norteña | 33.56 ABCDE | 42.31 ABCD | 20 | 42 | 120 | 74.33 | 3.70 |
| NAU-6 | 32.30 ABCDE | 40.76 ABCD | 17 | 35 | 104 | 34.40 | 4.40 |
| Atlantic | 27.71 BCDEF | 33.28 CDE | 17 | 25 | 96 | 51.20 | 3.87 |
| Gigant | 25.12 CDEF | 33.39 CDE | 17 | 0 | 96 | 38.87 | 3.93 |
| 05-10 | 24.94 CDEF | 32.28 CDE | 20 | 30 | 93 | 36.07 | 4.07 |
| 91-29-10 | 24.15 CDEF | 29.58 CDE | 20 | 32 | 101 | 41.67 | 4.00 |
| 91-25-4 | 23.49 DEF | 37.44 BCDE | 20 | 32 | 101 | 48.33 | 3.93 |
| 94-02-01 | 19.26 EF | 30.73 CDE | 20 | 30 | 120 | 54.73 | 5.73 |
| Fiana | 18.72 EF | 28.28 DE | 20 | 38 | 101 | 58.67 | 2.80 |
| 98-18-24 | 18.41 EF | 31.28 CDE | 17 | 38 | 123 | 120.00 | 4.80 |
| T97-1-165 | 15.09 F | 32.24 CDE | 17 | 29 | 104 | 54.27 | 4.20 |
| Ágata | 13.70 F | 24.45 E | 17 | 36 | 86 | 29.40 | 4.27 |

| Genotipos | Cobertura (cm) | Días a | | | Manchado interno de tubérculo (%) | Contenido de Solidos (%) | Hojuela indeseable (%) | Daño final de Tizón tardío (%) |
|-----------|----------------|--------------------|------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------------|
| | | Inicio de síntomas | Muerte de planta | Intervalos | | | | |
| 96-01-01 | 86.6 | 86 | 120 | 34 | 0 | 19.2 | 10 | 20 |
| 98-14-21 | 71.67 | 53 | 101 | 48 | 0 | 18.6 | 0 | 25 |
| 02-95 | 71.47 | 75 | 101 | 26 | 0 | 20.5 | 0 | 90 |
| Alpha | 64.07 | 59 | 107 | 48 | 0 | 20 | 25 | 100 |
| Norteña | 73.4 | 93 | 120 | 27 | 0 | 17.9 | 10 | 15 |
| NAU-6 | 43.07 | 56 | 104 | 48 | 0 | 18.2 | 5 | 100 |
| Atlantic | 49.4 | 56 | 96 | 40 | 0 | 17.5 | 10 | 100 |
| Gigant | 48.47 | 56 | 96 | 40 | 10 | 17.3 | 0 | 100 |
| 05-10 | 49.47 | 67 | 93 | 26 | 0 | 19.2 | 0 | 100 |
| 91-29-10 | 52.47 | 53 | 101 | 48 | 0 | 20.5 | 20 | 100 |
| 91-25-4 | 63 | 53 | 101 | 48 | 1 | 18.8 | 0 | 100 |
| 94-02-01 | 75.53 | 67 | 120 | 53 | 0 | 19.9 | 10 | 80 |
| Fiana | 63.33 | 53 | 101 | 48 | 0 | 20.2 | 5 | 100 |
| 98-18-24 | 70.27 | 86 | 123 | 37 | 10 | 20.4 | 0 | 15 |
| T97-1-165 | 47 | 70 | 104 | 34 | 0 | 19.8 | 5 | 100 |
| Ágata | 37.8 | 56 | 86 | 30 | 0 | 20.3 | 20 | 100 |

*Tratamiento con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan ≤ 0.05)

Cuadro A.2. Cuadro con los valores de medias de las características agronómicas, daño por enfermedades y de calidad en 16 genotipos evaluados en la localidad Lirios, Arteaga, Coahuila (p-v 2012).

| Genotipos | Rendimiento (t ha ⁻¹) | | Días a | | | Altura de tallo (cm) | N° de Tallos |
|-----------|-----------------------------------|------------|------------|-----------|---------|----------------------|--------------|
| | Comercial | Total | Emergencia | Floración | Desvare | | |
| 98-18-24 | 47.70 A* | 59.96 A* | 18 | 38 | 139 | 83.10 | 2.73 |
| 02-95 | 43.93 AB | 48.95 AB | 23 | 40 | 122 | 47.67 | 3.53 |
| NAU-6 | 36.65 ABC | 44.75 BC | 18 | 37 | 97 | 51.87 | 3.80 |
| Norteña | 34.60 ABCD | 43.42 BC | 23 | 45 | 122 | 70.27 | 3.00 |
| T97-1-165 | 32.12 BCDE | 39.43 BC | 23 | 40 | 117 | 94.87 | 3.13 |
| Alpha | 31.88 BCDE | 39.13 BC | 20 | 40 | 125 | 89.00 | 3.60 |
| Atlantic | 31.40 BCDE | 35.51 BCDE | 23 | 33 | 83 | 46.07 | 2.87 |
| 96-01-01 | 30.93 BCDE | 34.98 BCDE | 29 | 34 | 111 | 55.97 | 2.53 |
| 05-10 | 29.03 BCDE | 37.61 BCD | 23 | 33 | 122 | 30.67 | 2.33 |
| Gigant | 28.80 BCDE | 36.72 BCD | 18 | 0 | 105 | 63.37 | 3.07 |
| 91-29-10 | 28.66 BCDE | 33.67 BCDE | 23 | 33 | 117 | 57.83 | 3.67 |
| Fiana | 28.20 CDE | 32.37 CDE | 23 | 32 | 122 | 47.13 | 3.67 |
| 91-25-4 | 21.73 CDEF | 31.10 CDE | 18 | 30 | 112 | 80.23 | 3.07 |
| Ágata | 19.44 DEF | 23.73 DE | 23 | 25 | 83 | 74.00 | 3.13 |
| 94-02-01 | 17.89 EF | 23.27 DE | 26 | 37 | 114 | 69.13 | 3.47 |
| 98-14-21 | 13.34 F | 21.00 E | 32 | 35 | 88 | 60.17 | 2.93 |

| Genotipos | Cobertura (cm) | Días a | | | Manchado interno de tubérculo (%) | Contenido de Sólidos (%) | Hojuela indeseable (%) |
|-----------|----------------|--------------------|------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|
| | | Inicio de síntomas | Muerte de planta | Intervalos | | | |
| 98-18-24 | 75.40 | 114 | 139 | 25 | 0 | 19.10 | 10 |
| 02-95 | 73.60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24.40 | 0 |
| NAU-6 | 51.33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.00 | 0 |
| Norteña | 76.00 | 86 | 120 | 34 | 0 | 19.80 | 10 |
| T97-1-165 | 56.47 | 0 | 0 | 0 | 20 | 17.10 | 0 |
| Alpha | 66.27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24.20 | 45 |
| Atlantic | 49.87 | 53 | 83 | 30 | 40 | 17.70 | 20 |
| 96-01-01 | 86.13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19.80 | 0 |
| 05-10 | 56.40 | 0 | 0 | 0 | 20 | 19.80 | 20 |
| Gigant | 48.87 | 58 | 98 | 40 | 0 | 17.30 | 20 |
| 91-29-10 | 57.80 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24.60 | 20 |
| Fiana | 67.00 | 64 | 97 | 33 | 20 | 20.50 | 25 |
| 91-25-4 | 66.87 | 39 | 112 | 73 | 0 | 18.50 | 50 |
| Ágata | 41.13 | 53 | 73 | 20 | 40 | 20.00 | 30 |
| 94-02-01 | 79.40 | 61 | 114 | 53 | 10 | 18.90 | 0 |
| 98-14-21 | 70.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19.10 | 0 |

*Tratamiento con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan ≤ 0.05)

Cuadro A.3. Cuadro con los valores de medias de las características agronómicas, daño por enfermedades y de calidad en 16 genotipos evaluados en la localidad Tokio, Galeana, Nuevo León (p-v 2012).

| Genotipos | Rendimiento (t ha ⁻¹) | | Días a | | | Altura de tallo (cm) | N° de Tallos |
|-----------|-----------------------------------|----------|------------|-----------|---------|----------------------|--------------|
| | Comercial | Total | Emergencia | Floración | Desvare | | |
| 91-25-4 | 23.49 A* | 30.62 A* | 21 | 30 | 84.00 | 35.20 | 3.47 |
| Norteña | 15.64 AB | 25.12 AB | 20 | 31 | 118.00 | 44.00 | 5.13 |
| Atlantic | 15.03 AB | 20.47 AB | 20 | 27 | 67.00 | 28.07 | 3.00 |
| 02-95 | 14.61 AB | 21.17 AB | 28 | 29 | 82.00 | 66.27 | 5.00 |
| 96-01-01 | 13.94 AB | 31.86 A | 28 | 30 | 110.00 | 64.47 | 5.27 |
| NAU-6 | 11.29 AB | 15.58 AB | 24 | 38 | 63.00 | 22.87 | 2.47 |
| Gigant | 10.74 B | 16.55 AB | 20 | 0 | 76.67 | 48.13 | 4.47 |
| 91-29-10 | 10.26 B | 20.65 AB | 20 | 31 | 85.00 | 71.13 | 4.00 |
| Alpha | 10.26 B | 18.24 AB | 29 | 42 | 81.67 | 51.60 | 4.00 |
| Fiana | 10.20 B | 15.70 AB | 21 | 32 | 88.67 | 55.07 | 4.33 |
| 94-02-01 | 9.84 B | 27.62 AB | 24 | 31 | 114.00 | 44.87 | 3.47 |
| 98-14-21 | 7.30 B | 18.00 AB | 28 | 28 | 89.00 | 70.30 | 4.20 |
| T97-1-165 | 6.09 B | 15.64 AB | 20 | 34 | 90.00 | 47.30 | 2.27 |
| 05-10 | 5.43 B | 12.08 B | 20 | 28 | 67.00 | 37.27 | 3.27 |
| Ágata | 5.01 B | 15.94 AB | 20 | 27 | 62.00 | 60.20 | 5.60 |
| 98-18-24 | 3.44 B | 12.38 B | 23 | 38 | 115.00 | 39.23 | 5.00 |

| Genotipos | Cobertura (cm) | Días a | | | Manchado interno de tubérculo (%) | Contenido de Sólidos (%) | Hojuela indeseable (%) | Daño por nematodo (%) |
|-----------|----------------|--------------------|------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| | | Inicio de síntomas | Muerte de planta | Intervalos | | | | |
| 91-25-4 | 58.73 | 61 | 84 | 23 | 20 | 17.50 | 10 | 57 |
| Norteña | 65.13 | 67 | 118 | 51 | 20 | 20.20 | 20 | 73 |
| Atlantic | 39.00 | 42 | 67 | 25 | 50 | 16.50 | 25 | 71 |
| 02-95 | 64.20 | 59 | 82 | 23 | 30 | 17.10 | 25 | 77 |
| 96-01-01 | 77.20 | 59 | 110 | 51 | 20 | 19.30 | 15 | 76 |
| NAU-6 | 39.27 | 48 | 63 | 15 | 20 | 16.80 | 30 | 46 |
| Gigant | 48.47 | 45 | 77 | 32 | 50 | 16.90 | 50 | 28 |
| 91-29-10 | 47.20 | 53 | 85 | 32 | 20 | 18.90 | 20 | 20 |
| Alpha | 58.20 | 53 | 82 | 29 | 40 | 18.00 | 25 | 30 |
| Fiana | 55.80 | 64 | 89 | 25 | 50 | 18.80 | 30 | 51 |
| 94-02-01 | 68.53 | 83 | 114 | 31 | 50 | 23.30 | 40 | 100 |
| 98-14-21 | 59.67 | 59 | 89 | 30 | 50 | 16.80 | 50 | 62 |
| T97-1-165 | 42.93 | 67 | 90 | 23 | 30 | 16.80 | 35 | 58 |
| 05-10 | 47.13 | 52 | 67 | 15 | 40 | 16.60 | 30 | 60 |
| Agata | 31.07 | 42 | 62 | 20 | 60 | 15.80 | 75 | 27 |
| 98-18-24 | 65.20 | 65 | 115 | 50 | 30 | 17.00 | 25 | 66 |

*Tratamiento con la misma letra son estadísticamente iguales (Duncan ≤ 0.05)

Cuadro A.4. Media de rendimiento por planta en clones y variedades evaluados a resistencia a Tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) en la localidad Puerto del municipio de Arteaga, Coahuila (p-v 2012).

| Genotipo | Kg/planta | |
|-----------|-----------|-------|
| | Comercial | Total |
| 96-01-01 | 1.40 | 1.74 |
| Norteña | 1.27 | 1.59 |
| 91-25-4 | 1.27 | 1.40 |
| NAU-6 | 1.07 | 1.15 |
| 05-10 | 1.07 | 1.19 |
| 94-02-01 | 0.97 | 1.09 |
| Fiana | 0.97 | 1.14 |
| 98-14-21 | 0.81 | 0.99 |
| T97-1-165 | 0.78 | 0.90 |
| 91-29-10 | 0.76 | 0.94 |
| 02-95 | 0.74 | 0.81 |
| Alpha | 0.71 | 0.86 |
| Gigant | 0.67 | 0.76 |
| 98-18-24 | 0.66 | 0.89 |
| Agata | 0.61 | 0.67 |
| Atlantic | 0.60 | 0.80 |

Cuadro A.5. Cuadro de presencia y diagnóstico de genotipos con síntomas de la punta morada de la papa en la localidad Lirios (p-v 2012).

| Genotipos | Número de plantas | Follaje | | Tubérculo | | Manchado de tubérculo interno (%) |
|-----------|-------------------|------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| | | Fitoplasma | <i>C. Liberibacter solanacearum</i> | Fitoplasma | <i>C. Liberibacter solanacearum</i> | |
| Fiana | 3 | - | + | - | + | 20 |
| 91-25-4 | 1 | - | + | - | + | 0 |
| Gigant | 2 | - | + | - | + | 0 |
| 94-02-01 | 1 | + | + | - | + | 10 |
| Ágata | 5 | + | + | + | + | 40 |
| Atlantic | 3 | - | + | + | + | 40 |
| 96-18-24 | 1 | + | + | + | + | 0 |