

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Evaluación Agronómica y Tolerancia de Genotipos de Papa (*Solanum tuberosum* L.) a Enfermedades Causantes del Síndrome de la Punta Morada

Por:

SALVADOR ZEPEDA VILLAFÁN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Febrero 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Evaluación Agronómica y Tolerancia de Genotipos de Papa (*Solanum tuberosum* L.) a Enfermedades Causantes del Síndrome de la Punta Morada

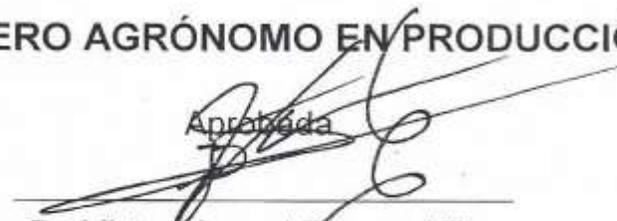
Por:

SALVADOR ZEPEDA VILLAFÁN

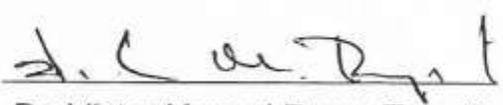
TESIS

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



Dra. Susana Gómez Martínez
Coasesor



Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía
Coordinación

Saltillo, Coahuila, México
Febrero 2014


División de Agronomía

AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar siempre conmigo, guiarme por el sendero indicado para llegar a cumplir mis metas y darme la dicha de tener una hermosa familia con la que comparto este logro.

A mi Alma Mater por brindarme las herramientas necesarias para poder construir un futuro profesional exitoso.

Al Dr. Víctor Manuel Parga Torres por darme la oportunidad y confianza de realizar este trabajo de tesis, por sus consejos y enseñanza que no se aprenden en un salón de clase, y sobre todo por brindarme su amistad.

Al Dr. Víctor Manuel Zamora Villa por su valiosa participación y asesoría para poder realizar este trabajo.

A la Dra. Susana Gómez Martínez por la revisión del presente trabajo y orientación durante mi formación profesional.

DEDICATORIA

A mis padres

Guillermo Zepeda González, Brígida Villafán López quienes con su amor, confianza y consejos me educaron para ser un hombre de bien. Gracias a todo su apoyo conseguí culminar una etapa más de mi vida.

A mis hermanos

Karla, Rocío, Rosa María, en especial a José María y Rafael, que esto sirva como motivación para que sigan superándose. Con ustedes he compartido los mejores momentos de mi vida, esto es una muestra de que con un poco de esfuerzo se alcanzan todas las metas.

A mis tíos Antonio Villafán y esposa Maricela Cortéz, por su apoyo y consejos, así como también a mis primos Antonio y Maricruz que les sirva como motivación para que sigan superándose.

A mi tía Pascuala Villafán López y madrina Margarita Nieto Villafán, por su cariño, consejos y apoyo para poder concluir mis estudios, las quiero mucho.

A mis amigos y compañeros de generación en especial a Omar Bautista, Sandra Jacobo, Ma. Luisa Francisco e Itzel Cervantes, por estar siempre conmigo compartir momentos especiales, alegrías, tristezas y aventuras, quienes hicieron de mi vida universitaria una experiencia inolvidable. Gracias por su amistad sincera e incondicional.

RESUMEN

Evaluación Agronómica y Tolerancia de Genotipos de Papa (*Solanum tuberosum* L.) a Enfermedades Causantes del Síndrome de la Punta Morada

Palabras clave: Papa, tolerancia, síndrome de la punta morada, análisis de componentes principales.

En el ciclo agrícola 2004, los daños por punta morada fueron responsables de más del 50% de pérdidas en producción y hasta del 100% en calidad. La Punta Morada es un síndrome debido a que intervienen tanto factores bióticos como abióticos en su ocurrencia. En el presente trabajo de investigación se evaluó la tolerancia de 16 genotipos de papa, 11 del Programa Nacional de Papa del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); y cinco variedades comerciales introducidas, para diferentes enfermedades causantes del síndrome de la punta morada en tres localidades de Coahuila y Nuevo León, bajo condiciones de riego, durante el ciclo primavera-verano 2012.

Para el análisis de las características agronómicas relacionadas con la susceptibilidad al síndrome de la punta morada, se utilizó la técnica de análisis de componentes principales (ACP). Al analizar las variables de campo en la localidad de los Lirios, los tres primeros componentes explicaron un 79.03% de la varianza total. Separando a los genotipos con tolerancia y más productivos de los no tolerantes y menos productivos, los genotipos: 96-01-0, 98-18-24 y Norteña fueron los más productivos y tolerantes a las enfermedades causantes del síndrome; 91-29-10, Alpha, 5-10, Nau-6, T97-1-16, fueron los genotipos más tolerantes al manchado de

la pulpa del tubérculo causado por el síndrome de la punta morada; y 94-02-01, Gigant, Fiana, Agata, Atlantic, 91-25-4, como los menos productivos y susceptibles al síndrome de la punta morada.

Considerando al tizón tardío como la enfermedad más importante en el cultivo de la papa, evaluada mediante la ABCPE y tasa de infección, los genotipos 98-18-24, Norteña y 96-01-01 tuvieron los valores más bajos, indicando con esto un bajo progreso de la enfermedad, el resto de los genotipos presentaron significativos valores de ABCPE y tasa de infección; siendo, Fiana, 91-25-4, T97-1-165, Gigant, 98-14-21, 5.-10 y 02-95 los que mostraron una incidencia de la enfermedad intermedia en comparación con los genotipos, Nau-6, 94-02-01, Agatha, Atlantic, 91-29-10 y Alpha que mostraron valores más altos, comportándose como los genotipos más susceptibles.

Se concluye que los genotipos Norteña, 96-01-01, 98-18-24, pueden producirse con menor uso de protectantes químicos lo que reduce el riesgo de contaminación ambiental y contribuye a la inocuidad de los alimentos producidos. Las opciones aquí señaladas contribuyen en la construcción de un sistema sustentable de producción de papa, aunque es necesario seguir estudiando y construyendo este sistema.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	v
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Origen.....	4
2.2 Síndrome de la Punta Morada.....	6
2.3 Análisis de Componentes Principales.....	8
2.4 Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad.....	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Descripción de los Ambientes de Evaluación.....	13
3.2 Material Genético.....	14

3.3 Desarrollo del Experimento.....	15
3.4 Variables a Evaluar.....	17
3.5 Análisis Estadístico.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1 Evaluación de Daño por Enfermedades Presentes en las Tres Localidades.....	23
4.2 Análisis de Componentes Principales.....	29
4.3 Tasa de Infección y Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad.....	35
V. CONCLUSIONES.....	40
VI. LITERATURA CITADA.....	41
VII. APÉNDICE.....	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
3.1	Características de los ambientes de evaluación.....	13
3.2	Germoplasma de papa evaluado en tres ambientes de producción en el Noreste de México.....	14
3.3	Criterios para clasificar la papa, considerando el diámetro inferior del tubérculo.....	15
4.1	Evaluación de daño por enfermedades presentes en tres localidades (p-v 2012).....	24
4.2	Coefficientes de correlación de cada variable con los tres componentes principales.....	30
4.3	Área bajo la curva de progreso de una enfermedad (ABCPE), tasa de infección (r) y ecuaciones para graficar la infección de tizón tardío sobre el tiempo en clones y variedades de papa.....	36
A.1	Cuadro de presencia y diagnóstico de genotipos con síntomas de la punta morada de la papa en la localidad Lirios (P-V 2012).....	49
A. 2	Media de rendimiento por planta en clones y variedades evaluados por resistencia a Tizón tardío (<i>Phytophthora infestans</i> (Mont.) de Bary) en la localidad Puerto del municipio de Arteaga, Coahuila (P-V 2012).....	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
4.1	Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad el Puerto del municipio de Arteaga, Coahuila.....	29
4.2.	Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad Lirios del municipio de Arteaga, Coahuila.....	30
4.3	Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad Tokio del municipio de Galeana, Nuevo León.....	30
4.4	Distribución de las variables en los dos primeros componentes.....	34
4.5	Agrupamiento de los genotipos en el espacio generado por los dos primeros componentes.....	36
4.6	Grafica de la estimación del ABCPE de los diferentes genotipos.....	39
4.7	Progreso de la enfermedad a través del tiempo.....	39

INTRODUCCIÓN

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.), ocupa en México el cuarto lugar en la producción de alimentos. En la región sureste de Coahuila y Nuevo León, ésta especie ocupa una superficie mayor de 3 000 ha, con un rendimiento medio comercial de 35 t ha⁻¹, con un costo por hectárea de casi \$170 000 (SAGARPA, 2009).

En la producción de este cultivo existen diversos factores que limitan su rentabilidad siendo los fitosanitarios los más importantes (Martínez *et al.*, 2007). En los años noventa, en zonas paperas de Coahuila, Nuevo León, Jalisco y otras del país comenzó a manifestarse la enfermedad punta morada de la papa (PMP), asociada etiológicamente a un fitoplasma, el que ocasiona amarillamiento, enrollamiento de folíolos con color morado, formación de tubérculos aéreos, necrosis vascular en tallos y tubérculos (García-Quijano, 1996), otros patógenos asociados con este síndrome son los virus del enrollamiento (PLRV) y Y (PVY) (Flores *et al.*, 2004) y daños ocasionados por hongos como *Fusarium*, *Verticillium* y *Rhizoctonia* (Guigon, 1994; Moctezuma, 2005). 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); además de considerar

a factores como altitud y variedad que afectan el inicio de infección y expresión de síntomas (Maramorosch, 1988; Banttari, 1993, Kranz, 1988; Santiago, 2004), ya que altas temperaturas causan pérdida de turgencia, reduce la transpiración por el cierre de estomas, reducen la absorción y transporte de agua/nutrientes y fotosintatos, provocando que no lleguen a lugares donde la planta lo requiere (Levitt, 1980). La alta humedad predispone a la planta al ataque de hongos del suelo y los procesos fisiológicos funcionan en forma inadecuada, ocasionando fallas en los mecanismos de defensa (Horsfall, 1979; Agrios, 1996; Santiago, 2004). Por lo anterior la Punta Morada es un síndrome debido a que intervienen tanto factores bióticos como abióticos.

En el ciclo agrícola 2004, los daños causados por punta morada fueron responsables de más del 50% de la pérdidas en producción y hasta del 100 % en la calidad del producto (Flores *et al.*, 2004). 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).

Las variedades comerciales utilizadas en México, tienen un parentesco cercano, con un intervalo de endogamia de 0.062 a 0.125, ya que provienen principalmente de Holanda. Esta situación ha ocasionado fuerte dependencia hacia el uso de agroquímicos, debido a la falta de

resistencia a las enfermedades y a la falta de adaptación de los cultivares a las condiciones adversas (Spiertz *et al.*, 1996).

Uno de los objetivos importantes en mejoramiento de papa es obtener variedades resistentes a enfermedades, plagas y factores abióticos, que en forma numerosa y severa afectan la producción y calidad (Estrada, 1983).

En México el principal Programa de Mejoramiento Genético de papa, tiene como objetivo la generación de germoplasma para resistencia al tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*), programa en el que México es líder a nivel mundial. Sin embargo, debido al incremento en los problemas ocasionados por la punta morada, actualmente se están realizando evaluaciones para determinar y detectar fuentes de resistencia contra este síndrome (Rivera, 2008).

OBJETIVO

Por lo antes mencionado el objetivo del presente estudio fue evaluar genotipos de papa con base en características agronómicas y de calidad para tolerancia a diferentes enfermedades causantes del síndrome de la punta morada.

HIPÓTESIS

Es posible, que al menos dos genotipos presenten, tolerancia para diferentes enfermedades causantes del síndrome de la punta morada.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen de la Papa

Datos obtenidos con el carbono catorce han demostrado que la papa fue domesticada desde aproximadamente hace 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 especies de 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, excedan de 2,000 con características variables dentro de una misma especie (Nelson, 2000).

Citología de la Papa

La papa puede ser clasificada de acuerdo a los niveles de ploídia. Este término se refiere al número de juegos (X) de cromosomas presentes en una célula vegetativa (somática). Las células somáticas normalmente contienen como mínimo dos juegos de cromosomas (organismos diploides). El número básico de cromosomas de la papa es de 12 cromosomas (X=12). Las células somáticas de las especies cultivadas de

papa varían entre el nivel diploide y pentaploide. La expresión $2n$ simboliza el nivel de ploídia y, en concordancia con X , el número total de cromosomas en las células vegetativas.

Clasificación Taxonómica

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).

En México, la papa *Solanum tuberosum* L., es un cultivo importante debido a la derrama económica que genera, ya que representa el 1% del Producto Interno Bruto Total y el 2.6% del Producto Agropecuario del país (ITESM, 2003). Durante el año 2007, se sembraron 64,000 ha de papa, con una producción total de 1.7×10^6 t y un rendimiento promedio de 27.7 t ha^{-1} (SIAP, 2010).

La sociedad actual demanda que la producción agrícola sea inocua para el humano y el ambiente, debido a lo cual se requiere seleccionar genotipos con tolerancia que coadyuven en la reducción del uso de agroquímicos, por lo que es necesario que genetistas y mejoradores estudien las características de tolerancia y sus múltiples relaciones para su comprensión y hacer más eficiente el proceso de mejoramiento por resistencia múltiple al síndrome de la punta morada (Parga, 2011.)

Síndrome de la Punta Morada

La enfermedad de la "punta morada" de la papa fue reportada en México desde los años cincuenta y actualmente es una de las enfermedades más importantes de este cultivo en el país. Se encuentra distribuida en la mayoría de las zonas productoras de papa, afectando la calidad y el rendimiento, a tal grado que dificulta o imposibilita su comercialización para consumo en fresco o en la industria de hojuelas fritas, debido a la necrosis que induce en el interior de los tubérculos enfermos. Además es un factor limitante para la producción de semilla, debido a que los tubérculos infectados no brotan, o emiten brotes débiles o muy delgados (brotes finos), dichos tubérculos son desechados, lo que provoca pérdida de semilla.

Considerando que en México la semilla de papa se comercializa mucho antes de que brote completamente y por lo tanto no se sabe en ese momento el porcentaje de infección de la semilla; la enfermedad puede provocar pérdidas económicas al momento de sembrarla, ya que el porcentaje de establecimiento en campo sería menor a la densidad de población recomendada (Zavala, 1998).

El síndrome de la punta morada es una de las principales enfermedades limitantes de la producción en el cultivo de la papa en México, reduciendo el rendimiento 30 a 95 %, así como la calidad del tubérculo (Cadena *et al.*, 2003). El síndrome produce una disminución en el crecimiento, enrollamiento apical y coloración purpúrea en los folíolos; los tubérculos dañados muestran un oscurecimiento de la pulpa, lo que demerita drásticamente su calidad y uso como semilla (Cadena *et al.*, 2003). Entre los agentes causales de mayor incidencia está un fitoplasma asociado con el Western aster yellows del Grupo I, con base en la clasificación internacional de fitoplasmas (Leyva *et al.*, 2002; Salazar, 1997; Munyaneza *et al.*, 2005) y a su vector (*Bactericera cockerelli*), aunque hay virus (PVY, PVX, PLRV) y hongos (*Fusarium spp.*) asociados al síndrome de la punta morada (Jensen *et al.*, 2004). Existen evidencias que indican, que además de agentes bióticos, los abióticos como la temperatura, humedad relativa o una mala nutrición puede causar alteraciones

metabólicas o fisiológicas de la planta, provocando la expresión de síntomas de punta morada (Agrios, 1996; Rubio 1998; Santiago, 2004).

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; 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 sintomatología de Punta Morada son afectadas por fitoplasmas, sino que se encuentran involucrados otros factores, que reducen a su vez el rendimiento y la calidad. Los principales insectos vectores de virus y fitoplasmas, presentes en la región son: pulgones (*Myzus spp*), chicharritas (*Empoasca spp*) y psílidos (*Bactericera cockerelli*), los cuales se relacionan con el síndrome de la Punta Morada.

Análisis de Componentes Principales

El análisis de componentes principales transforma un conjunto de variables correlacionadas en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas (Almenara *et al.*, 1998). El objetivo del análisis es reducir la

dimensionalidad de los datos, en la cual se expresa el conjunto original de variables (Peña, 2002).

En 1901 Karl Pearson publicó un trabajo sobre el ajuste de un sistema de puntos a una línea o a un plano en un multiespacio (Pla, 1986). El enfoque de Pearson fue retomado en el año 1933 por Hotelling, quien en primera instancia formuló el análisis de componentes principales (Del Ángel, 2004).

Esto se logra mediante la transformación a un nuevo conjunto de variables las cuales son no correlacionadas y se ordenan de modo tal que unas pocas (las primeras) retengan la mayor cantidad de variación presente en el conjunto original de variables (Jolliffe, 2002). Dada una matriz de datos, se busca la posibilidad de representar adecuadamente la información, con un número menor de variables que son construidas como combinaciones lineales de las originales. La técnica ACP presenta una doble utilidad: permite representar óptimamente en un espacio de dimensión pequeña, observaciones de un espacio general de dimensión p (posible identificación de variables latentes), además, permite transformar las variables originales que generalmente están correlacionadas, en nuevas variables no correlacionadas que facilitan la interpretación. (Peña, 2002).

El análisis de componentes principales (ACP) se ha utilizado de manera creciente en las últimas décadas, prácticamente en todas las áreas (Hair, *et al.*, 1999). Si el análisis realizado es exitoso, cada variable debe estar muy bien representada (con una correlación elevada) en una dimensión y pobremente representada (con correlaciones bajas) en las demás (Johnson y Wichern, 2002). En muchos casos, el análisis de componentes principales constituye el objeto de estudio, pero los supuestos del método no se cumplen para los datos observados (Linting, 2007).

Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE)

El área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) es un resumen cuantitativo útil de la intensidad de la enfermedad a través del tiempo, la comparación entre años, ubicaciones, o tácticas de gestión. El método más comúnmente utilizado para la estimación de la ABCPE, el método trapezoidal, es para discretizar la variable de tiempo (horas, días, semanas, meses, o años) y calcular la intensidad de la enfermedad media entre cada par de puntos de tiempo adyacentes (Madden *et al.*, 2007).

En estudios sobre el desarrollo de enfermedades monocíclicas y policíclicas en plantas, se han usado funciones de crecimiento para estimar el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE). Berger y

Jones (1985) derivaron un modelo combinando el proceso de infección con el crecimiento de las plantas. (Shaner y Hess, 1978) mencionan que el tiempo de aparición de síntomas tiene efecto en la curva del progreso de la enfermedad y la extensión de la infección en tiempo. Las lesiones pueden aparecer en varios días, semanas o meses después de la inoculación, dependiendo del patosistema. (Colon y Budding, 1988) estudiaron la resistencia al tizón tardío en diez especies silvestres de papa. El grado de resistencia a *P. infestans* lo evaluaron mediante el cálculo de la ABCPE, observando que ésta decreció en el mismo grado en que la fecha de inoculación fue retardada.

El patrón de comportamiento de una epidemia en términos del número de lesiones, la cantidad de tejido dañado o el número de plantas enfermas, se puede representar por una curva que muestra el avance de la epidemia a través del tiempo. Esta curva se conoce como curva de progreso de la enfermedad (CPE) y, es el resultado de graficar la cantidad de enfermedad, en una población de plantas contra el tiempo; esta grafica se puede hacer utilizando los datos en forma acumulada, no acumulada (no se tiene en cuenta la infección o la planta enferma del período de tiempo anterior) y, la forma transformada. La curva idealizada del desarrollo de una enfermedad, es sigmoide, similar a la curva clásica del crecimiento biológico. El punto de origen y la forma de la curva, indican el período de aparición y la cantidad de inóculo inicial; la resistencia o susceptibilidad del

hospedero durante su crecimiento; los factores climáticos y la efectividad de las medidas de control. El conocimiento de las curvas de desarrollo de la enfermedad, también permite hacer predicciones de las enfermedades de las plantas y así, seleccionar la mejor estrategia de control, aplicable en un momento y a una enfermedad en particular (Achicanoy, 2000).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidades Experimentales

La presente investigación se realizó en módulos de evaluación, en diferentes localidades de Coahuila y Nuevo León, establecidos en parcelas de productores cooperantes, bajo condiciones de riego (Cuadro 3.1).

Cuadro3.1 Características de los ambientes de evaluación (P-V 2012).

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	
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 extremoso, 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: 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 en el Noreste de México (P-V 2012).

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

Siembra

La siembra se realizó 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).

Las parcelas experimentales constaron de un surco de 5.0 m de largo, espaciados a 0.92 m, con una distancia entre plantas de 0.20 m; la parcela útil fue un surco con una longitud de 3.0 m, eliminando un metro en cada extremo, para estimar el rendimiento total, comercial (suma de la primera, segunda y tercera categoría) y por categorías en $t\ ha^{-1}$ (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3 Clasificación de la papa de acuerdo al diámetro del tubérculo.

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

mm= milímetros

Toma de Datos

Ejido el Puerto

Para evaluar la susceptibilidad de los genotipos al tizón tardío (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) en la localidad del Puerto del municipio de Arteaga, Coah. Se estableció una parcela de 3m sin aplicación de fungicidas para la prevención y control del patógeno.

La evaluación se hizo semanalmente en porcentaje de daño, al aparecer los primeros síntomas y hasta la muerte de la planta. El manejo del cultivo se llevó de acuerdo al programa del productor.

Ejido los Lirios

En la localidad de los Lirios del municipio de Arteaga, sólo se realizaron aplicaciones semanales de insecticidas para el control de vectores (El programa regional de aplicaciones por los productores es de tres veces por semana); En esta localidad, se etiquetaron y contabilizaron las plantas con síntomas de punta morada. Adicionalmente, se colectó una muestra aleatoria de follaje por genotipo, y a la cosecha cinco tubérculos, y se analizaron en el laboratorio de biotecnología del Campo Experimental Rio Bravo del CIRNE.

Ejido el Tokio

En el Tokio del municipio de Galeana, N. L., se pudo realizar la evaluación de daño por marchitez prematura, causada por *Fusarium*, spp y *Colletotrichum atramentarium* (Berk et Br) Taub. En esta misma localidad se presentó daño en tubérculos por el nematodo *Meloidogyne* spp. La presencia de estas enfermedades fue severa 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.

La evaluación de las enfermedades por localidad fue considerando días a inicio de síntomas, días a muerte e intervalo entre ellos.

Se monitorearon semanalmente, a través del ciclo, los vectores paratiroza, pulgones y chicharritas, mediante trampas amarillas, en las tres localidades.

Variables Evaluadas

Altura de Planta (cm)

Al desvare o muerte de la misma se registró, 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 pesaron los tubérculos obtenidos en una superficie de 2.76 m² 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.

Gravedad Específica (Por ciento de sólidos)

Como parámetros de calidad industrial se consideraron el contenido de sólidos (%). Se tomó y lavó 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.

Color de la Hojuela (fritura)

Este parámetro de calidad fue evaluado tomando una muestra de las tres repeticiones y siguiendo los siguientes procedimientos: De los tubérculos evaluados para sólidos se tomó una muestra de 20, 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 de hojuela, transformándolos en porcentajes.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos a través del ciclo de estudio se analizaron mediante la técnica de análisis de componentes principales (ACP) utilizando el programa de Statistica V. 6.0 (2005), con el fin de reducir la dimensionalidad de los datos y establecer las relaciones entre las variables y agrupar a individuos en grupos que son diferentes entre sí y dentro de cada grupo los individuos que lo conforman son semejantes entre sí (Manly, 1986; Johnson y Wichern, 2002).

Para la evaluación de tizón tardío se utilizó el modelo del progreso de una enfermedad para obtener la tasa de infección y la ABCPE (área bajo la curva de progreso de una enfermedad) (APS, 2014).

De acuerdo a lo siguiente:

Los puntos de tiempo de la muestra en una secuencia $\{t_i\}$, en el que el intervalo de tiempo entre dos puntos de tiempo puede ser consistente o puede variar, y también hemos asociado medidas del nivel de la enfermedad $\{y_i\}$. Definimos $Y(0) = Y_0$ como de la infección inicial o el nivel de enfermedad en el momento $t = 0$ (es decir, la primera observación gravedad de la enfermedad en nuestro estudio). $U_n(t_k)$, la ABCPE en $t = t_k$, es la enfermedad total acumulado hasta $t = t_k$, dado por:

$$A_k = \sum_{i=1}^{N_i-1} \frac{(y_i + y_{i+1})}{2} (t_{i+1} - t_i)$$

Para la tasa de infección se tomó el siguiente modelo:

Si la x observada en un epidemia policíclica se transforma al logaritmo natural de $x/(1-x)$ y los valores transformados se trazan contra t , el resultado será una línea recta con una inclinación del valor r y un intersección del valor del logaritmo natural de $x_0/(1-x_0)$. Para adaptar modelos a datos observados, es importante seleccionar el modelo basado en la biología conocida del patógeno en lugar de simplemente en la forma de la curva, para nuestro caso es un modelo policíclico por lo tanto tenemos que convertir los porcentajes a proporciones (x), pero esta vez la transformación que usamos es $\ln(x/(1-x))$. Graficando $\ln(x/(1-x))$ (a veces llamado el logit de x) versus t , se ajusta en una línea recta a los datos usando la regresión lineal.

El ABCPE no es el único método para resumir el progreso de la enfermedad; análisis de regresión también se aplican a menudo. El análisis de regresión es una herramienta estadística para describir la relación entre dos o más variables cuantitativas tales que una variable (la variable dependiente o respuesta) puede predecirse a partir de otra variable (s) (la variable independiente o predictor (s)). Por ejemplo, si se conoce la relación entre la gravedad de la enfermedad y el tiempo, gravedad de la

enfermedad se puede predecir a una hora especificada. Si tenemos sólo una variable de predicción y la respuesta y la variable predictora tener una relación lineal, los datos pueden ser analizados con un modelo lineal simple. Cuando hay más de una variable predictora, regresión múltiple puede ser utilizado. Cuando los modelos lineales no son suficientes para describir los datos, un modelo de regresión no lineal puede ser útil. En esta sección, algunos ejemplos de regresión lineal simple se presentan usando R.

La ecuación de la recta que mejor se ajuste a la nube de puntos (recta de mínimos cuadrados). Uno de los principales usos de dicha recta será el de predecir o estimar los valores de Y que obtendríamos para distintos valores de X. Estos conceptos quedarán representados en lo que llamamos diagrama de dispersión. La ecuación de la recta de mínimos cuadrados (en forma punto-pendiente) es la siguiente:

$$y - \bar{y} = \frac{Cov(X, Y)}{s_x^2} (x - \bar{x})$$

El Coeficiente de Determinación R^2 Es una medida de la bondad de ajuste del modelo, un modelo de regresión con mayor o igual a 75% se puede considerar bastante aceptable. Nota: El valor de R^2 es afectado por la presencia de valores anormales (Acuña, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de Daño por Enfermedades Presentes en las Tres Localidades

En el Cuadro 4.1, se presentan los valores de la evaluación del daño por las enfermedades presentes en cada sitio experimental. 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 el desarrollo de 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.2

Cuadro 4.1. 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
			Síntoma de Punta Morada por Vectores (Fitoplasma, <i>Candidatus Liberibacter solanacearum</i>)			Marchitez Prematura (<i>Fusarium spp</i> , <i>Colletotrichum atramentarium</i> y <i>Meloidogyne spp</i>)		
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
Nortefía	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 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.1). Los análisis de laboratorio detectaron en follaje, *Liberibacter solanacearum* y fitoplasma. La bacteria *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 en 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 *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 nemátodo *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 presentaron los cultivares: 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). En el daño en los tubérculos por el nemátodo *Meloidogyne spp.*, siendo las variedades Agata, Gigant, Alpha y el clon 91-29-10 los de menos daño con un porcentaje de 20, 27, 28 y 30 respectivamente. El clon 94-02-01 fue el más susceptible con el 100% de tubérculos con daño. 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 realizó el productor cooperante (dos veces por semana) tuvo buen control de las mismas.

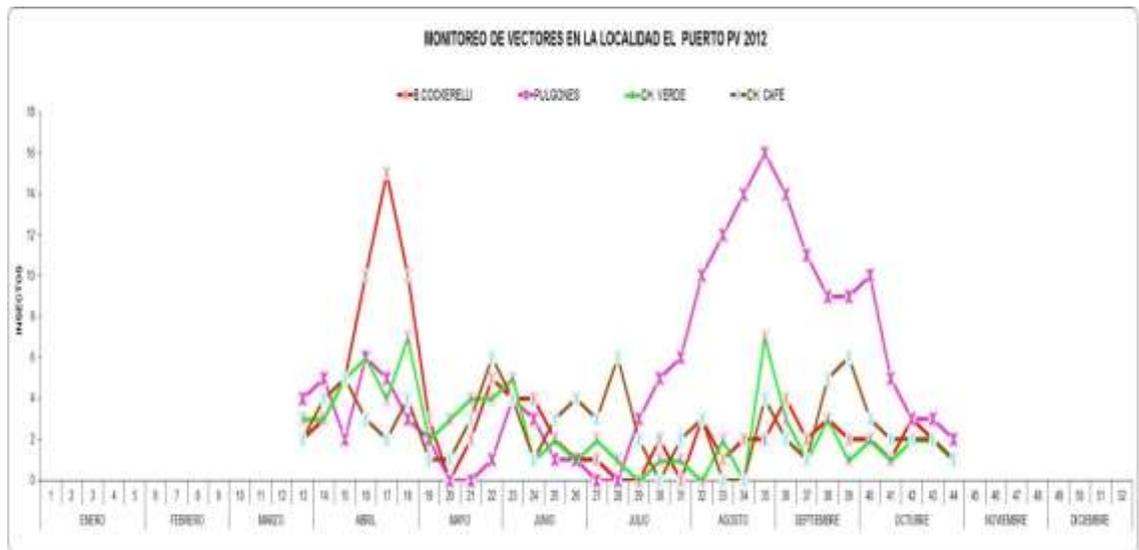


Figura 4.1. Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad Puerto del municipio de Arteaga, Coahuila.

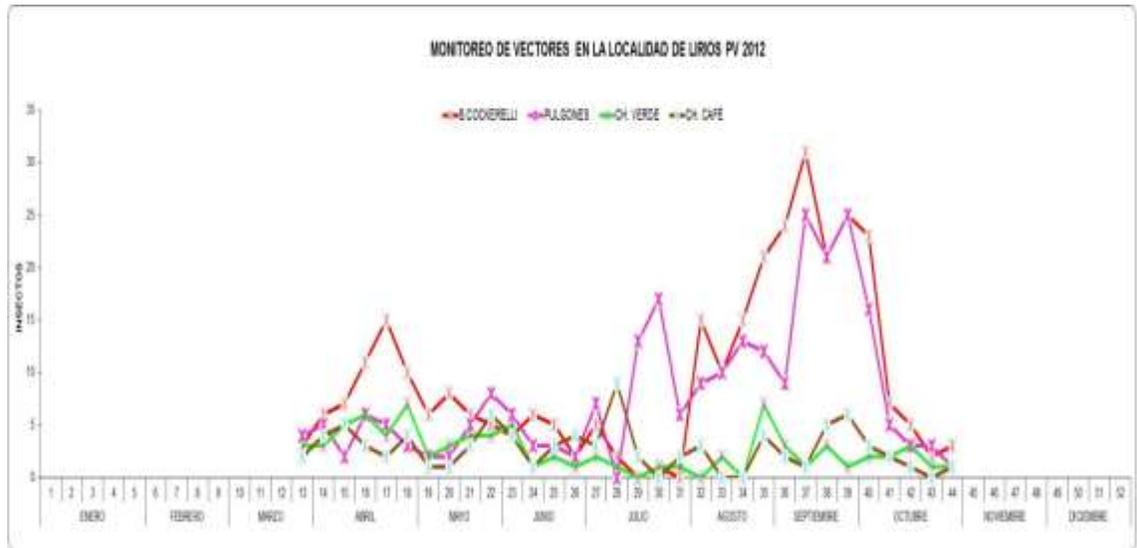


Figura 4.2. Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad Lirios del municipio de Arteaga, Coahuila.

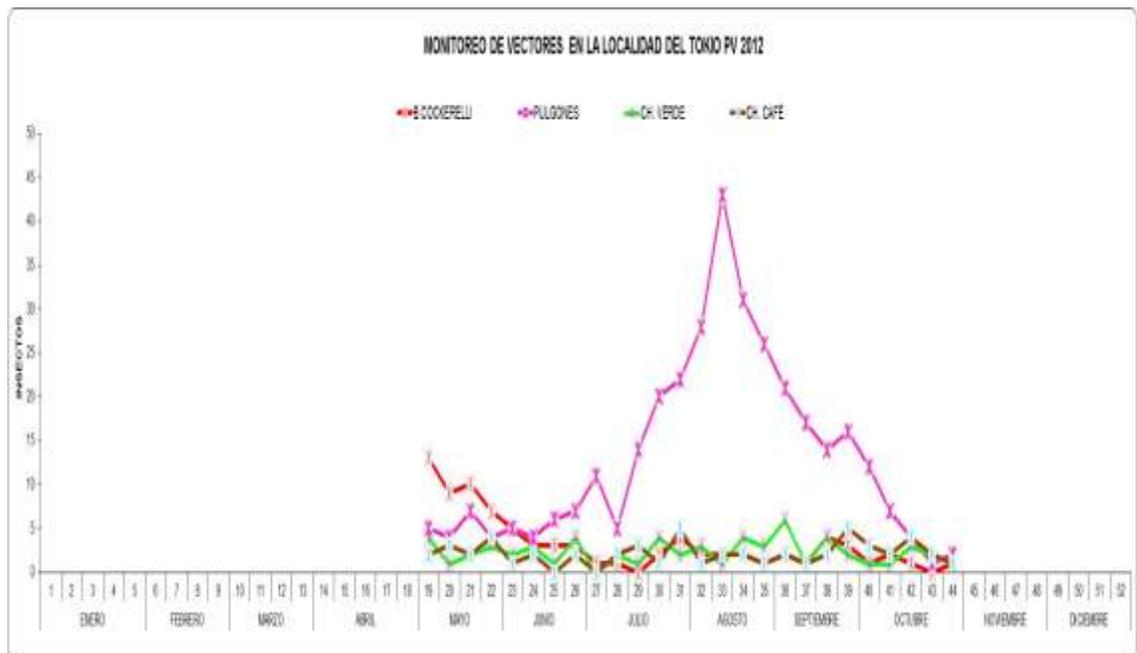


Figura 4.3. Monitoreo de insectos vectores a través del ciclo (P-V 2012), en la localidad Tokio del municipio de Galeana, Nuevo León.

Análisis de Componentes Principales

Al analizar las relaciones entre variables de campo en la localidad de los Lirios mediante la técnica de componentes principales, se explicó un 79.03 % de la varianza total con los primeros tres componentes (Cuadro 4.2). El componente 1 explicó 34.77% de la varianza total y las variables que más contribuyeron a la variación fueron, altura de tallos (ALT), producción total (TOT), comercial (COM) y por categorías y número de tubérculos, Primera (P), Segunda (SE), Tercera (TER), Tejocote (TJO), que mostraron una relación positiva entre si y negativa con el CP1, en tanto a total de plantas enfermas (TPE), porciento de manchado de tubérculo (TMAN) y porciento de hojuela indeseable (HOJUELA) mostró una asociación positiva con dicho componente; por lo que tiende a separar genotipos que tuvieron una relación positiva de altura de tallos, producción total, comercial y por categorías y número de tubérculos y pudo estar dada por el mayor porte de los genotipos el cual, al parecer se asocia directamente con la producción (Borrego *et al.*, 1999) y baja relación con plantas enfermas, porciento de manchado de tubérculo y porciento de hojuelas indeseables. Se ha demostrado que los síntomas descritos previamente en la parte aérea de las plantas pueden estar asociados con la presencia de fitoplasmas (Almeyda *et al.*, 1999; Cadena *et al.*, 2003; Maramorosch, 1998) y también pueden ser provocados por la infección de una bacteria, cuyo nombres propuestos son *Candidatus Liberibacter*

psyllaurous (Hansen *et al.*, 2008) y *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Liefting *et al.*, 2008).

Cuadro 4.2 Coeficientes de correlación de cada variable con los tres componentes principales y varianza explicada.

VARIABLES	COMPONENTE		
	1	2	3
ALT	-0.74	-0.116	0.008
NUMT	-0.375	0.115	0.254
COB	-0.473	0.004	0.5
COM	-0.864	-0.265	-0.295
TOT	-0.873	-0.318	-0.143
P	-0.648	-0.482	-0.39
SE	-0.718	-0.02	-0.387
TER	-0.557	-0.135	0.114
CUAT	-0.086	-0.095	0.66
TJO	-0.634	-0.501	-0.086
NTUBR	-0.84	-0.405	0.077
TPE	0.733	-0.563	-0.263
IS	0.018	-0.944	0.086
MP	0.182	-0.927	0.239
INTER	0.412	-0.705	0.439
TMAN	0.521	-0.22	-0.659
SOLI	-0.269	0.407	-0.292
HOJUELA	0.451	-0.195	-0.037
Expl.Var	6.606698	4.007989	2.10136
Prp.Totl	0.347721	0.210947	0.110598

ALT= Altura de planta, NUMT= Número de tallos/ planta, COB= Cobertura, COM= Producción comercial, TOT= Producción total, P= Primera, SE= Segunda, TER= Tercera, CUAT= Cuarta, TJO= Tejocote, NTUBR= Número de tubérculos/ planta, TPE= Total de plantas enfermas, IS= Días a Inicio de síntoma, MP= Días a muerte de la planta, INTER= Intervalo de inicio a marchitez, TMAN= Porcentaje de manchado de tubérculos, SOLI= Porcentaje de sólidos, HOJUELA= Hojuela indeseable (%).

El componente 2 explicó un 21.09 % de la varianza total y las variables que más contribuyeron a la variación fueron producción de tubérculos clasificados como tejocote (TJO) (<30mm), días a inicio de síntomas (IS), días a muerte de la planta (MP) e intervalo de inicio de síntomas a muerte de la planta (INTER) con relación positiva entre si y negativa con el CP2. Estas variables son la expresión agronómica de la enfermedad (Parga, 2009). El componente 3 contuvo un 11.05 % de la varianza y estuvo definido por las variables cobertura (COB) y producción de tubérculos de cuarta categoría (CUAT) (35-45 mm) con relación positiva entre sí y una relación negativa con porcentaje de manchado de tubérculos con (TMAN) signo negativo. Esto indica que los genotipos con mayor cobertura presentaron mayor rendimiento de tubérculos de cuarta categoría y por ende más bajos valores en porcentaje de manchado de tubérculo.

En la Figura 4.4 presenta la distribución de las variables en los dos primeros componentes.

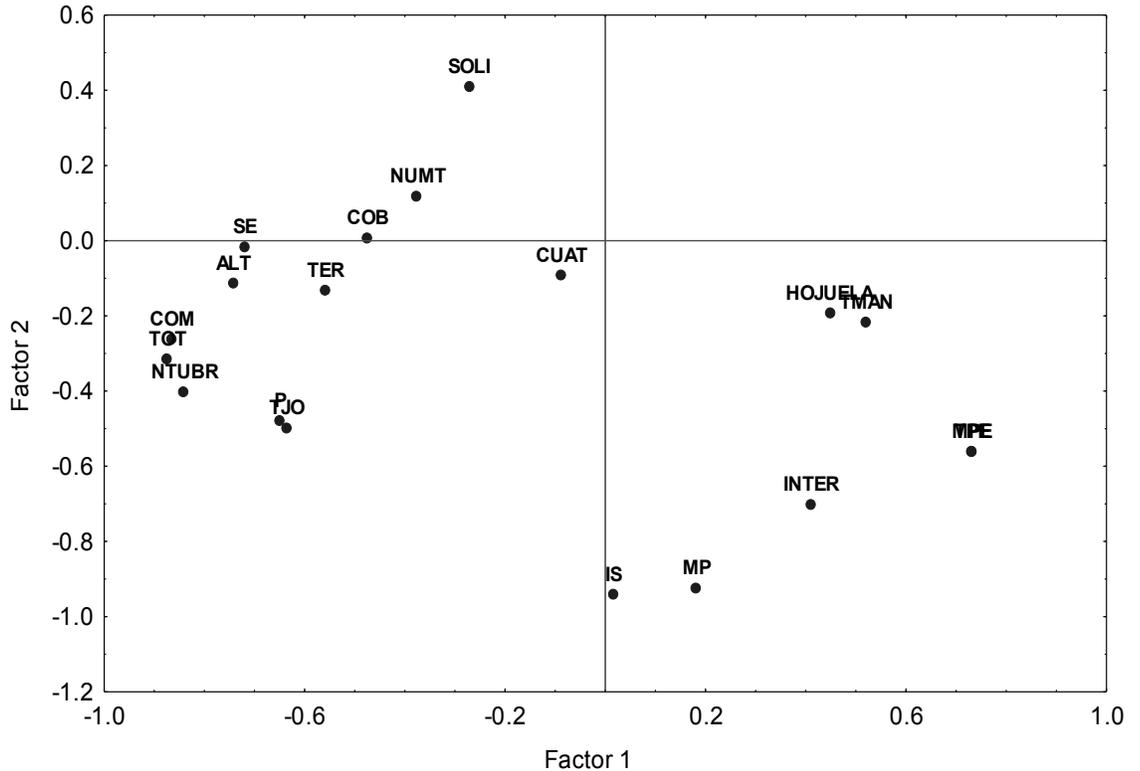


Figura 4.4. Distribución de las variables en los dos primeros componentes.

El componente 1 nos indica que las variables, altura de tallos (ALT), producción total (TOT), comercial (COM), número de tubérculos, Primera (P), Segunda (SE), Tercera (TER), tubérculos de cuarta categoría (CUAT), Tejocote (TJO), tienen una relación negativa entre, total de plantas enfermas (TPE), días a inicio de síntomas (IS), días a muerte de la planta (MP) e intervalo de inicio de síntomas a muerte de la planta (INTER), porcentaje de manchado de tubérculo (TMAN), porcentaje de hojuela indeseable (HOJUELA). Esta relación se puede deber a que las variables del lado izquierdo tienen una asociación directa rendimiento mientras que las variables del lado derecho están relacionadas con susceptibilidad al

síndrome de la punta morada. El componente 2 separa cobertura (COB), número de tallos (NUMT), sólidos (SOLI) con una relación positiva entre ellos.

En la Figura 4.5 se observa la distribución de los genotipos graficados en los con los primeros dos componentes, formando dos grupos. En el grupo conformado por 91-29-10, Alpha, 5-10, Nau-6, T97-1-16, ubicados en el cuadrante izquierdo superior, se caracterizan por una tener una mayor cobertura, numero de tallos y contenido de sólidos, indicándonos con esto que estos materiales tuvieron buen comportamiento agronómico, rendimiento promedio y fueron tolerantes al síndrome de la punta morada. Para los materiales 98-18-24 y Norteña ubicados en el cuadrante inferior izquierdo, están más asociados a las variables de producción por lo tanto estos dos materiales fueron los que tuvieron mayor rendimiento tanto comercial como total.

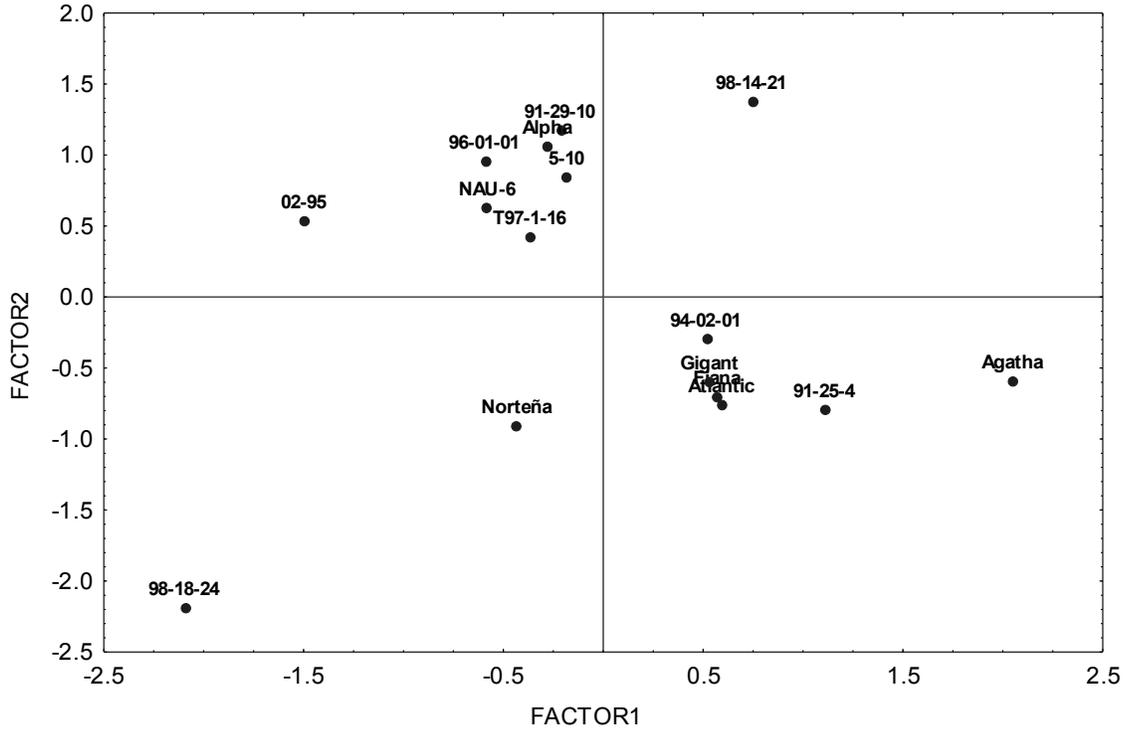


Figura 4.5 Agrupamiento de los genotipos en el espacio generado por los dos primeros componentes.

Para el segundo grupo conformado por 94-02-01, Gigant, Fiana, Agatha, Atlantic, 91-25-4, ubicados en el cuadrante inferior derecho tienen una asociación positiva a las variables que son presenciales al síndrome de la punta morada indicándonos con esto que son susceptibles y al tener una relación negativa a las variables de rendimiento fueron poco productivas.

Tasa de Infección y Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE)

Para la evaluación de tizón tardío se estimó la tasa de infección y el ABCPE de cada genotipo según el método de la APS (American Phytopathological Society) la cual arroja un valor, donde los valores más altos corresponden a los genotipos más susceptibles y los valores bajos a los más resistentes. En el Cuadro 4.3 se puede observar que de los genotipos evaluados 98-18-24, Norteña y 96-01-01 tuvieron los valores más bajos en la ABCPE, indicando con esto que tuvieron un bajo progreso de la enfermedad, para el caso de la tasa de infección (r); Norteña y 96-01-01 siguieron teniendo un valor bajo, acentuando poco daño del patógeno. Sin embargo, el genotipo 98-18-24 tuvo una tasa de infección (r) de 0.1 indicando que el daño del patógeno se presentó con severidad al final del ciclo. El reducido progreso de la enfermedad a lo largo del período de cultivo sugiere que la resistencia en los genotipos resistentes pudiera ser del tipo poligénica (Rodríguez *et al.*, 2008).

Cuadro 4.3 Área bajo la curva de progreso de una enfermedad (ABCPE), tasa de infección (r), coeficiente de determinación (R^2) y ecuaciones para graficar la infección de tizón tardío sobre el tiempo en clones y variedades de papa.

Genotipo	ABCPE	Tasa de Infección (r)	R^2	Ecuación de Regresión
Norteña	212.5	0.058	0.8557	$y = 0.0585x - 8.554$
Fiana	1431.5	0.19	0.8338	$y = 0.19x - 16.967$
91-25-4	1253	0.2012	0.786	$y = 0.2012x - 17.432$
Nau-6	1557.5	0.185	0.8122	$y = 0.185x - 16.376$
96-01-01	143.5	0.0577	0.9239	$y = 0.0577x - 8.126$
t97-1-165	1242.5	0.3001	0.9389	$y = 0.3001x - 27.882$
Gigant	1326.5	0.1845	0.815	$y = 0.1845x - 15.335$
94-02-01	1821.5	0.1054	0.7724	$y = 0.1054x - 10.361$
Agatha	1557.5	0.1888	0.7714	$y = 0.1888x - 14.213$
Atlantic	1610	0.1797	0.8597	$y = 0.1797x - 14.552$
98-14-21	1120	0.3572	0.9234	$y = 0.3572x - 33.682$
5.-10	787.5	0.3652	0.859	$y = 0.3652x - 32.643$
91-29-10	2012.5	0.1609	0.888	$y = 0.1609x - 13.418$
Alpha	1638	0.1515	0.777	$y = 0.1515x - 13.074$
02,-95	1295	0.1792	0.9791	$y = 0.1792x - 16.663$
98-18-24	85.5	0.1	0.9762	$y = 0.1x - 13.589$

El resto de los genotipos tuvieron una ABCPE con valores altos siendo, Fiana, 91-25-4, T97-1-165, Gigant, 98-14-21, 5.-10, 02-95 con valores entre 700 y 1450, indicando susceptibilidad a tizón tardío con una incidencia de la enfermedad intermedia a comparación de los genotipos, Nau-6, 94-02-01, Agatha, Atlantic, 91-29-10, Alpha que tuvieron los valores más altos entre 1500 y 2000, teniendo un mayor progreso de la enfermedad quedando como los genotipos más susceptibles muriendo en promedio a los 95 días después de a emergencia.

Para el caso de la tasa de infección (r) los genotipos que tuvieron valores más altos entre 0.20 y 0.37 fueron: 91-354, T97-1-165, 98-14-21, 5.-10, indicándonos una mayor tasa de infección diaria, cabe mencionar que la ABCPE de estos genotipos fue de valores intermedios diciéndonos con esto que la enfermedad se mostró más severa al final del ciclo o en su caso matando la planta en un intervalo de 15 días.

Lo antes mencionado se puede observar de manera gráfica en la Figura 4.6 donde indica los valores de ABCPE, en donde Norteña, 96-01-01 y 98-18-24 presentan los valores más bajos menores a 500 con un poco progreso de la enfermedad y al contrario de los genotipos NAU-6, 92-02-01, Agatha Atlantic, 91-29-19 y Alpha que tuvieron los valores más altos superiores a 1500 los cuales tuvieron un mayor progreso de la enfermedad.

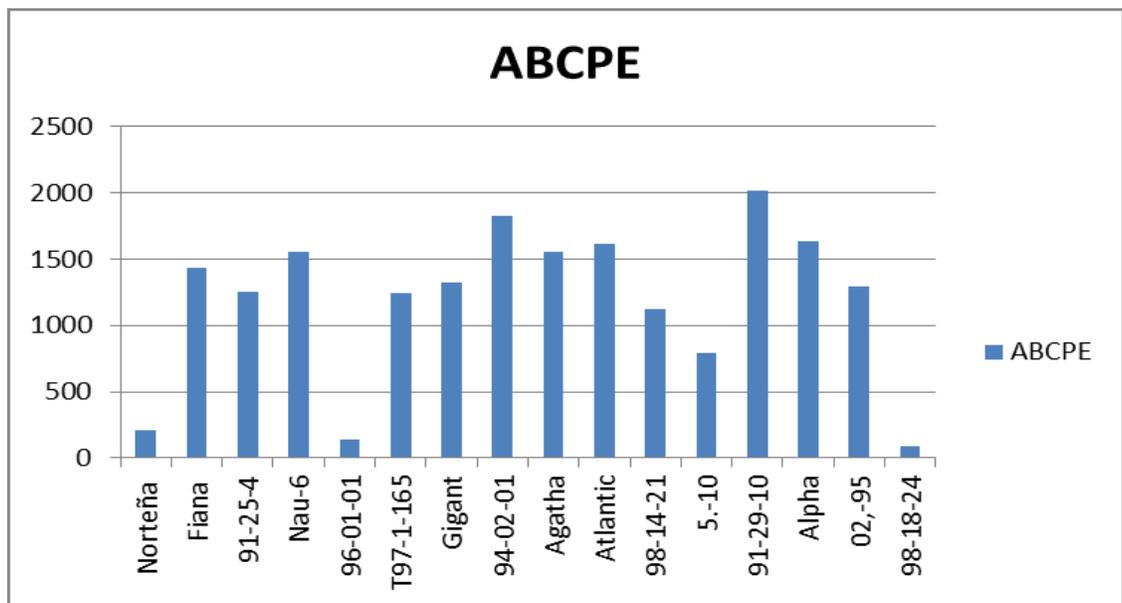


Figura 4.6 Estimación del ABCPE de los diferentes genotipos

El ABCPE, al ser un valor numérico, no nos explica por sí solo cómo ha sido el comportamiento de los genotipos durante toda la epidemia, por ello la Figura 4.7 nos muestra la curva del progreso de la enfermedad con los datos de las evaluaciones del área foliar enferma y el tiempo de evaluación. De acuerdo a la gráfica la mayoría de los genotipos tuvieron un progreso mayor de la enfermedad de los 85 a los 106 días llegando al 100% de daño ocasionado la muerte completa de la planta, para el caso de Agatha llegó al 100% de daño a los 92 días indicando que es el genotipo con mayor susceptibilidad al tizón tardío, para el genotipo 94-02-01 alcanzó a llegar al fin del ciclo con un daño del 90% indicando también alta susceptibilidad. Los genotipos con mayor resistencia fueron, Norteña, 96-01-01 y 98-18-24 que llegaron al fin del ciclo fenológico con un 20 % de daño, siendo para 98-18-24 superior la incidencia de daño en los últimas 15 días del ciclo.

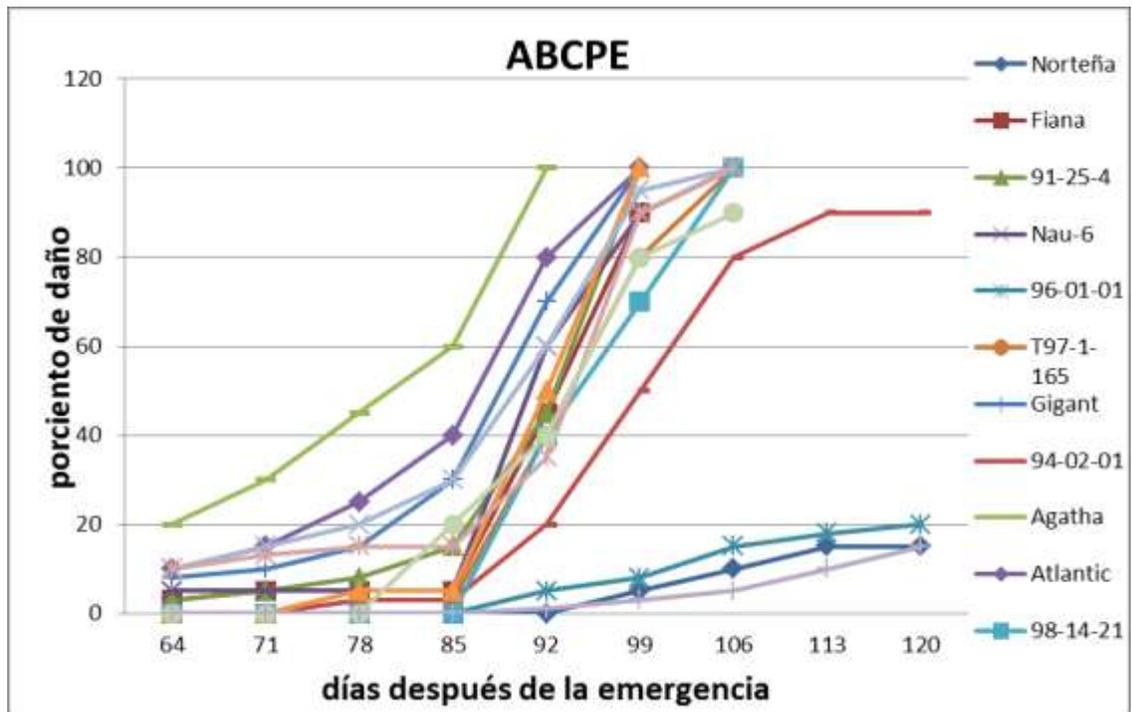


Figura 4.7 Progreso de la enfermedad a través del tiempo

Los resultados del estudio muestran que las variedades Agatha, Alpha, Ataltic, Fiana, Gigant, introducidas a México, son susceptibles para todas las enfermedades evaluadas, lo cual nos da una idea clara que el uso de estas variedades provocaría una utilización excesiva de productos químicos para el control de dichas enfermedades y plagas, aproximadamente de 30 a 40 aplicaciones durante el ciclo del cultivo, esto con el objetivo de obtener la calidad demandada por el mercado teniendo como resultado una contaminación de medio ambiente que afecta gravemente a organismos e insectos benéficos para la fauna silvestre y adquiere altos costos del cultivo, así como riesgos en la salud de las personas que consumen dicho producto.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se concluye que:

Los genotipos, Norteña, 96-01-01, 98-18-24, pueden ser producidos con menor uso de protectantes químicos lo cual reduce el riesgo de contaminación ambiental y contribuye a la inocuidad de los alimentos producidos.

Las opciones aquí señaladas contribuyen en la construcción de un sistema sustentable de producción de papa, aunque es necesario el seguir estudiando y construyendo este sistema.

LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. 1996. Fitopatología. 2da. Edición. Editorial Limusa. México. 838 p.
- Achicanoy, L. H. 2000. Descripción cuantitativa de las epidemias de las plantas. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 968 Vol.53, No.1. 941-968.
- Almenara, J., González J. L., García C., Peña P. 1998. ¿Qué es el análisis de Componentes principales? Jano. 1268:58-60.
- Almeyda-León, I. H., O. Rubio, M. A. Cadena-Hinojosa, M. Díaz, T. E. Zavala, M. A. Rocha y A. Díaz. 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-Monterrey. INIFAP, Informes de Avances. 19 p.
- APS. 2014. Calculating the area under the disease progress curve to quantify disease progress. Disponible en: <http://www.apsnet.org/EDCENTER/ADVANCED/TOPICS/ECOLOGIANDEPIDEMIOLOGYINR/DISEASEPROGRESS/Pages/AUDPC.aspx>.
- Banttari, E. 1993. Virus, viroides and micoplasmas disease. Potato Production and Pest Management in North Dakota and Minnesota, NASU. Extension Service. pp. 70–71.

- Berger, R.D., and Jones, J.W. 1985. A general model for disease progress with functions for variable latency and lesion expansion on growing host plants. *Phytopathology* 75(7):792-795.
- 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.
- Cadena H., M. A. Guzmán P., R. Díaz M., Zavala T., E. Almeyda L., H. López H., D. Rivera A., P. y Rubio C., O. 2003. Distribución, incidencia y severidad del pardeamiento y la brotación anormal en los tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Valles altos y sierras de los estados de México, Tlaxcala y el Distrito Federal, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 21: 248-258.
- 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.
- Colon, L.T. and Budding D.J. 1988. Resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) in ten wild *Solanum* species. *Euphytica* 5:77-86.
- Del Ángel N., V. 2004. Una aplicación del algebra lineal a la estadística (componentes principales). URL: http://www.uv.mx/facmate/licenciatura/tesis_presentadas/Del_Angel_Cruz_Natalia_Vanessa.pdf.

- Estrada R., N. 1983. Taxonomía, genética y mejoramiento de la papa. Apuntes del curso de germoplasma. Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú.
- Fernández A., E. 2008. Análisis de Regresión. Departamento de Matemáticas, Universidad de Puerto Rico.
- García J., R. 1996. Etiología y transmisión del obscurecimiento del tubérculo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) para industria. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 65 p.
- 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.
- Hair, J.F. 1999. Análisis Multivariante, 5a ed. Prentice Hall, Madrid.
- Hansen, A. K., Trumble, J. T., Stouthamer, R. and Paine, T. D. 2008. New Huanglongbing (HBL) *Candidatus* species, *C. Liberibacter psyllaeus*, found to infect tomato and potato is vectored by the psyllid *Bactericerca cockerelli* (Sulc). Appl. Environ. Microbiol. In press.
- Horsfall, J. G. 1979. Latrogenic disease: mechanism of action. In plant diseases. Eds. Horsfall, J.G.; Cowling, E.B. New York, Academic Press. pp. 343-355.

- ITESM. 2003. Informe del Foro Cadena Agroalimentaria de Papa (Alta Tecnología). Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey Campus Saltillo. Saltillo, Coah. México.
- Johnson, R. A. and Wichern, D. W. 2002. Applied Multivariate Statistical Analysis, Fifth edition. Pearson Education International, United States of America.
- Jolliffe, I. T. 2002. Principal component analysis, 2nd ed., ser. Springer series in statistics. New York, NY, USA. Springer.
- Kranz, J. 1988. The methodology of comparative epidemiology. In: Experimental techniques in plant disease epidemiology. Springer, Berlin. pp. 279-289.
- León G., Á. Llinás S., H. Tilano J. 2008. Análisis multivariado aplicando componentes principales al caso de los desplazados. Ingeniería y Desarrollo. núm. enero-junio, pp. 119-142.
- Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Physiological Ecology. T.T. Kozlowski. Ed. New York, Academic Press. 607 p.
- Leyva, L. N. E., S. J. C. Ochoa, K. D. S. Leal, and J. P. Martínez. 2002. Multiple phytoplasmas associated with potato diseases in México. Can. J. Microbiol. 48: 1062-1068.
- Linting, M. 2007. Nonparametric Inference in Nonlinear Principal Components Analysis: exploration and beyond. Doctoral Thesis, Leiden University.

- Madden, L. V., Hughes, G., and Van den Bosch, F. 2007. *The Study of Plant Disease Epidemics*. The American Phytopathological Society, APS Press St. Paul, Minnesota.
- Manly B., F. J. 1986. *Multivariate statistical methods: A primer*. Ed. Chapman and Hall. London. 160p.
- Maramorosch, K. 1998. Current status of potato purple top wilt. *Inter. J. Trop. Plant Dis.* 16:61-72.
- 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.
- Munyanza, J. E., A. S. Jensen, P. B. Hamm, and J. M. Crosslin. 2005. Phenology of the beet leafhopper, major vector of the potato purple top phytoplasma in the Columbia Basin. *Potato Assoc. Am. Annual Meeting (abstract G73)*.
- 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., 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 T., V. M., Zamora V., V. M., Borrego E., F., Covarrubias R., J. M., López B., A., Almeyda L., I. H. 2011. "Evaluación, Selección y Caracterización de Genotipos de Papa Tolerantes al Síndrome de Punta Morada". Revista Mexicana de Fitopatología, pp. 15-24.
- Peña D. 2002. Análisis de datos multivariados. Madrid, España: McGraw Hill.
- Pla L. E. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. Washington: Organización de Estados Americanos.
- Ramos V., O. A. Sánchez O., A. Flores L. Almeyda H., I. 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.
- Rivera, P. A. 2008. Generación de variedades de papa en México. XII Cong. Nacional de Papa. Los Mochis, Sinaloa, México. Pp. 45-48.
- Rodríguez D. Alcalá de M., y Fernando E. 2008. Selección inicial de clones de papa por resistencia a la candelilla tardía y rendimiento. Bioagro 20(1): 29-35.
- 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 C., O. A. Cadena H. 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.
- Salazar L., F. 1997. Identificación y control de enfermedades virales y fitoplasmas de la papa. Simposio Internacional de la Papa México. www.codesan.org/org/e_foros/infopapa/papa27.htm.
- 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.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2009. Anuario Estadístico Agropecuario. México, D. F. 276 p.
- 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
- Shaner, G., and Hess, F. D. 1978. Equations for integrating components of slow leaf-rusting resistance in wheat. *Phytopathology* 68:1464-1469.
- Venkatesan, G. S., Munyanesa, J.E., Crosslin, J.M., Buchman, J.L., and Pappu, H.R. 2010. Phenotypic and etiological differences between psyllid yellows and zebra chip of potato. *Am. J. Potato Res.* 87:41-49.

Zavala-Quintana, T. 1998. Punta morada de la papa. XVII Congreso de Filogenética. Acapulco, Guerrero Méx. pp. 502.

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 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

Cuadro A.2. Media de rendimiento por planta en clones y variedades evaluados por 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