

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS PROVOCADAS POR PVY EN EL CULTIVO DE
PAPA EN COAHUILA

Tesis

Que presenta JOEL DE SANTIAGO MEZA

como requisito para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

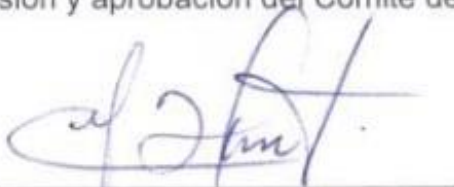
Saltillo, Coahuila

Diciembre 2023

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS PROVOCADAS POR PVY EN EL CULTIVO DE
PAPA EN COAHUILA

Tesis

Elaborada por JOEL DE SANTIAGO MEZA como requisito parcial
para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Parasitología Agrícola
con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría



Dr. Gustavo Alberto Frias Treviño
Director de Tesis



Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe
Asesor



Dr. Alberto Flores Olivas
Asesor



Dr. Antonio Flores Naveda
Subdirector de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme vida, salud, sabiduría, y por darme la fortaleza para poder salir adelante en los momentos complicados de mi vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por acogerme y permitirme ser parte de ella de su historia. Por formarme como profesionista; poniendo a su disposición a excelentes maestros, instalaciones y materiales.

A CONAHCYT por proporcionarme una beca para poder realizar mis estudios en el Posgrado de Maestría en Ciencias en Parasitología Agrícola.

A todos mis maestros por aportarme conocimiento, sabiduría y experiencias durante mi formación académica.

Al Dr. Gustavo Alberto Frías Treviño por el apoyo, enseñanza y amistad que me brindó durante esta etapa de mi formación académica.

Al Lic. Gustavo Alberto Frías Díaz “Ito” por todo el apoyo que me brindó en el proyecto de investigación realizado.

Al Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe por los consejos brindados y por el apoyo en la revisión de este trabajo.

Al Dr. Alberto Flores Olivas por el apoyo en la revisión de este trabajo.

Al personal del CISEF; Ing. Edith y Dr. Juan Manuel por el apoyo que me brindaron en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Ing. Placido por el tiempo, apoyo y conocimientos que me brindó durante el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres:

Isela Meza Rosas y Tereso De Santiago Salinas

Por estar a mi lado en todo momento, por su amor y apoyo durante esta etapa de mi vida.

A mi familia:

Tíos, abuelos, primos, por el amor y apoyo brindado durante esta etapa de mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE CUADROS.....	x
Resumen	xi
Abstract.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
Justificación	2
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Producción Mundial de Papa.....	4
Producción Nacional de Papa	4
Producción de Papa en Coahuila	4
Descripción del Virus	5
Ubicación Taxonómica (ICTV, 2022).....	5
Propiedades del Virión y del Genoma	5
Morfología de la Partícula.....	5
Punto de Inactivación Térmica	5
Punto Final de Dilución	5
Longevidad In vitro	6
Inclusiones	6
Ácido nucleico	6
Proteína.....	7
Sintomatología en Papa por Grupo de Cepas de PVY	7
PVY ^O	8
PVY ^C	8
PVY ^N	9
PVY ^{NTN}	9

PVYN-Wi	9
PVY ^Z y PVY ^E	9
Rango de Hospederos y Sintomatología	10
Hospederos primarios infectados naturalmente	10
Hospederos Experimentales	10
Hospederos de Ensayo	10
Hospederos de diagnóstico	10
Hospederos para propagación	12
Distribución Geográfica	12
Diseminación y/o Introducción	12
Métodos de Identificación	14
Caracterización Biológica	15
Caracterización Serológica	15
Caracterización Genotípica (PCR)	16
Estrategias de Control	16
Mejoramiento Genético	17
Control Químico	17
Control Biológico	18
Control Cultural	18
Control Legal	18
MATERIALES Y MÉTODOS	19
Sitios de Evaluación	19
Obtención del Material Genético	20
Método de Diagnóstico de PVY	21
Método de Diagnóstico por ImmunosTrips®	21
Método de Diagnostico por DAS-ELISA	23
Diseño Experimental	26
Trasplante	26
Semilla tubérculo	26
Manejo del Cultivo	28
Inoculación	28
Procedimiento de Inoculación	28

Predios Comerciales	30
Evaluación	32
Campo Experimental “El Bajío”-Trasplante	32
Campo Experimental “El Bajío”-Semilla Tubérculo	33
Predios Comerciales	34
RESULTADOS.....	35
Campo Experimental “El Bajío”-Trasplante	35
Campo Experimental “El Bajío”-Semilla tubérculo.....	37
Cantidad y Calidad de Tubérculos	40
Estimación de Pérdidas en Coahuila.....	42
DISCUSIÓN	43
Pérdidas por Infecciones Primarias	43
Pérdidas por Infecciones Secundarias	44
Cantidad y Calidad de Tubérculos	45
Estimación de Pérdidas en Coahuila.....	46
CONCLUSIÓN	46
REFERENCIAS	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sitios de evaluación; parcela experimental, UAAAN, Saltillo, Coahuila; predios muestreados en Arteaga, Coahuila.....	19
Figura 2. Colecta de tubérculos durante la cosecha de papa en la región productora de papa de Coahuila.....	20
Figura 3. Selección de tubérculos y formación de grupos diagnosticados.....	21
Figura 4. Obtención y macerado de muestras de brotes.....	22
Figura 5. A) Tiras reactivas con reacción positiva a PVY; B) Tiras reactivas con reacción negativa a PVY.....	22
Figura 6. Bolsas de polietileno utilizadas en la siembra de tubérculos.....	23
Figura 7. Muestreo y mezcla de folíolos de plántulas de papa.....	24
Figura 8. Placas con muestras de folíolos procesadas; A) placa con muestras positivas a PVY; B) placa con muestras negativas a PVY.....	24
Figura 9. Placa con muestras de brotes de tubérculos procesadas.....	25
Figura 10. Plántulas de papa trasplantadas.....	26
Figura 11. Siembra de semilla tubérculo de papa.....	27
Figura 12. Surcos cubiertos con malla antiáfidos.....	27
Figura 13. Agroquímicos utilizados; A) Fertilizante granulado; B) Plaguicidas....	27
Figura 14. A) buffer de fosfatos; B) macerado del tejido (folíolos); C) filtrado de savia con ayuda de una gasa; D) mortero con savia colocado en hielo.....	29
Figura 15. A-C) Inoculación de plantas sanas con savia proveniente de plantas infectadas con PVY; D) Muestreo de folíolos diagnosticados por ImmunoStrips.....	30
Figura 16. Muestreo de folíolos en predios comerciales de papa variedad Fianna.....	31
Figura 17. A) Tubérculo cosechados colocados en bolsas de polietileno; B) Obtención de rendimiento de los tratamientos.....	33
Figura 18. Preparación de muestras compuestas de folíolos de papa para ser diagnosticadas por DAS-ELISA.....	34
Figura 19. Rendimiento de plantas cultivadas a partir de semilla tubérculo sana e infectada por PVY.....	35

Figura 20. Rendimiento por hectárea en base a los datos obtenidos en parcela experimental.....	36
Figura 21. A) Plantas provenientes de semilla tubérculo infectada con PVY; B) Plantas provenientes de semilla tubérculo libre de PVY.....	36
Figura 22. A) Tubérculos producidos por plantas cultivadas a partir de semilla-tubérculo libre de PVY; B) Tubérculos producidos por plantas cultivadas a partir de semilla-tubérculo infectada por PVY.....	37
Figura 23. Rendimiento de plantas cultivadas a partir de semilla tubérculo infectada por PVY, plantas inoculadas a los 20, 40, 60 y 80 DDE, y plantas sanas.....	38
Figura 24. Rendimiento por hectárea de plantas cultivadas a partir de semilla tubérculo infectada por PVY, plantas inoculadas a los 20, 40, 60 y 80 DDE, y plantas sanas, en base a los datos obtenidos en la parcela experimental.....	39
Figura 25. Ajuste del modelo de Berger que explica el 98% del cambio en pérdidas con relación a la fecha de infección por PVY (DDE-días después de la emergencia)	39
Figura 26. Cantidad y calidad de tubérculos producidos por plantas de papa cultivadas a partir de semilla tubérculo infectada (0), plantas inoculadas a los 20,40,60 y 80 DDE, y plantas que se mantuvieron sanas durante todo el ciclo(120 días).....	40
Figura 27. Tubérculos producidos por: A) Plantas provenientes de semilla tubérculo infectada; B) Plantas inoculadas a los 20 DDE; C) Plantas inoculadas a los 40 DDE; D) Plantas inoculadas a los 60 DDE; E) Plantas inoculadas a los 80 DDE; F) Plantas sanas.....	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Número de tubérculos colectados en cada predio.....	20
Cuadro 2. Ha= Hectáreas, No. Muestreos= Número de Muestreos, DDE= Muestreos Después de la Emergencia, No. Foliolos=Número de Foliolos.....	32
Cuadro 3. Ha= Hectáreas, No. Muestreos= Número de muestreos por predio, DDE= Días después de la emergencia, No. Foliolos= Número de foliolos	42
Cuadro 4. Pérdidas en rendimiento y económicas en cada uno de los predios muestreados.....	43

Resumen

ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS PROVOCADAS POR PVY EN EL CULTIVO DE
PAPA EN COAHUILA

POR

JOEL DE SANTIAGO MEZA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. GUSTAVO ALBERTO FRÍAS TREVIÑO -ASESOR-

Saltillo, Coahuila. Diciembre del 2023

Surcos de una parcela experimental sembrados con tubérculos de papa en Buenavista, Saltillo, se inocularon mecánicamente con PVY a los 20, 40, 60 y 80 días después de la emergencia; adicionalmente, se sembró semilla tubérculo libre e infectada con PVY. Se cosecharon los tubérculos producidos en cada surco y se calculó las pérdidas ocasionadas por PVY en las plantas inoculadas. El rendimiento en los surcos con plantas sembradas con semilla tubérculo infectado con PVY fue 52.6 % menor al rendimiento de los surcos con plantas testigo. En los surcos con plantas inoculadas a los 20, 40, 60 y 80 DDE, las pérdidas fueron de 30.7, 17.2, 9.5 y 0.61 %, respectivamente. Mediante muestreos de folíolos y pruebas DAS-ELISA, se determinó el porcentaje de incidencia de PVY en cuatro predios comerciales de papa variedad Fianna, ubicados en la zona productora de papa de Coahuila. Dos predios presentaron una incidencia de PVY de 92 a 100 %, mientras que, los otros dos presentaron una incidencia de 0 a 5%, desde los 20 hasta los 80 DDE. Se encontró que el modelo que mejor se ajusta a los datos obtenidos en la parcela experimental es el modelo de Berger $Y = 1 / \left[1 + e \left(- \left\{ \ln \left[\frac{y_0}{1-y_0} \right] + r * dde \right\} \right) \right]$. Utilizando el modelo de pérdidas desarrollado con los datos de la parcela experimental, se estimó que las pérdidas por PVY en el cultivo de la papa en Coahuila en el 2022 fueron del 18%, lo que significa una pérdida económica para el estado de \$19, 068, 500.

Palabras clave: Papa, pérdidas, PVY, rendimiento, semilla.

Abstract

ESTIMATION OF LOSSES CAUSED BY PVY IN POTATO CROP IN
COAHUILA

BY

JOEL DE SANTIAGO MEZA

MASTER OF SCIENCE IN AGRICULTURAL PARASITOLOGY
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. GUSTAVO ALBERTO FRÍAS TREVIÑO -ADVISER-

Saltillo, Coahuila. December 2023

Rows of an experimental plot planted with potato tubers in Buenavista, Saltillo, were mechanically inoculated with PVY at 20, 40, 60 and 80 days after emergence, additionally, free tuber seed infected with PVY was sown. The tubers produced in each row were harvested and the losses caused by PVY in the inoculated plants were calculated. The yield in the rows with plants planted with tuber seed infected with PVY was 52.6% lower than the yield in the rows with control plants. In the rows with plants inoculated at 20, 40, 60 and 80 DDE, the losses were 30.7, 17.2, 9.5 and 0.61%, respectively. Through leaflet sampling and DAS-ELISA tests, the percentage incidence of PVY was determined in four commercial Fianna variety potato farms, located in the potato-producing area of Coahuila. Two farms had an incidence of PVY of 92 to 100%, while the other two had an incidence of 0 to 5%, from 20 to days after the emergency. It was found that the model that best fits the data obtained in the experimental plot is the $Y = 1 / \left[1 + e \left(- \left\{ \ln \left[\frac{y_0}{1-y_0} \right] + r * dde \right\} \right) \right]$. Using the loss model developed with the data from the experimental plot, it was estimated that losses due to PVY in potato cultivation in Coahuila in 2022 were from 18%, which means an economic loss for the state. from \$19, 068, 500.

Keywords: Losses, potato, PVY, seed, yield

INTRODUCCIÓN

Potato Virus Y (PVY) es la especie tipo del género Potyvirus, uno de los géneros de la familia Potyviridae (ICTV, 2022; Kerlan, 2006; Scholthof *et al.*, 2011) que es considerada como la familia de virus más amplia de las existentes (Ivanov *et al.*, 2014; Rigotti y Guguerli, 2007). PVY ocupa el quinto lugar entre los diez virus de plantas más importantes del mundo (Milne, 2013; Scholthof *et al.* 2011; Rolland *et al.*, 2008) y se considera el virus económicamente más importante y devastador que infecta cultivos de papa (*Solanum tuberosum*) en todo el mundo (Gray *et al.*, 2010; Karasev y Gray, 2013; Quenouille *et al.*, 2013; Shukla *et al.*, 1998; Singh *et al.*, 2008).

Este virus ha sido, durante mucho tiempo, un problema persistente en la producción de papa en todo el mundo (De Bokx y Hunttinga, 1981; Hernández *et al.*, 2007, Kostiw, 2011, Lacroix *et al.*, 2010), puesto que, afecta los cultivos de producción comercial y produce la enfermedad económicamente más importante en la producción de semilla de papa ya que, los altos niveles de PVY han sido responsable de que muchos lotes no puedan ser certificados como semilla, lo que resulta en una reducción significativa en el valor de la cosecha y, en ocasiones, en una escasez de semilla certificada (Gray *et al.*, 2010).

En México, la siembra de semilla tubérculo certificada para la producción de papa es un requisito fitosanitario establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-040-FITO-2002 y NOM-041-FITO-2002, sin embargo, los beneficios en el rendimiento del cultivo de papa obtenidos al sembrar semilla certificada libre de virus de rápida diseminación, como PVY, no han sido evaluados. Los objetivos de esta investigación fueron: a) evaluar las pérdidas causadas por PVY en plantas de papa variedad Fianna inoculadas a diferentes edades, b) elaborar un modelo de estimación de pérdidas y c) estimar las pérdidas ocasionadas por PVY en la zona papera de Coahuila.

Justificación

En México se desconocen las pérdidas ocasionadas por PVY en el cultivo de papa variedad Fianna.

Objetivos

Evaluar experimentalmente las pérdidas ocasionadas por PVY en el cultivo de papa variedad Fianna.

Estimar las pérdidas ocasionadas por PVY en la zona productora de papa de Coahuila.

Hipótesis

El PVY causará pérdidas en el rendimiento entre 15 y 25%.

REVISIÓN DE LITERATURA

Potato Virus Y (PVY) es la especie tipo del género Potyvirus, uno de los géneros de la familia *Potyviridae* (ICTV, 2022; Kerlan, 2006; Scholthof *et al.*, 2011) que es considerada como la familia de virus más amplia de las existentes (Ivanov *et al.*, 2014; Rigotti y Guguerli, 2007). PVY fue descrito por primera vez por Smith (1931) como el agente causante de la enfermedad del mosaico debilitante en la papa, y se diferenció en tres cepas principales (PVY^O, PVY^N y PVY^C) basado en la expresión de síntomas en papa (*Solanum tuberosum*) y tabaco (*Nicotiana tabacum*) (Cockerham, 1943; Salaman y Le Pelley, 1930).

PVY ocupa el quinto lugar entre los diez virus de plantas más importantes del mundo (Milne, 2013; Scholthof *et al.* 2011; Rolland *et al.* 2008) y se considera como el virus económicamente más importante y devastador que infecta cultivos de papa en todo el mundo (De Bokx y Huttinga, 1981; Gray *et al.*, 2010; Karasev y Gray 2013; Kerlan y Moury 2008; Shukla *et al.*, 1998; Singh *et al.*, 2008; Quenouille *et al.*, 2013; Valkonen, 2007), además, es responsable de enfermedades graves en otros cultivos ampliamente cultivados como tabaco (*Nicotiana tabacum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y chile (*Capsicum annum*) (Kerlan, 2006; Kerlan y Moury, 2008).

Este virus ha sido durante mucho tiempo un problema persistente en la producción de papa en todo el mundo (De Bokx y Hunttinga, 1981, Hernández *et al.*, 2007, Kostiw, 2011; Lacroix *et al.*, 2010), puesto que, afecta los cultivos de producción comercial y produce la enfermedad económicamente más importante en la producción de semilla de papa (Gray *et al.*, 2010), ya que, los altos niveles de PVY ha sido responsable de que muchos lotes de semillas sean rechazados como semillas certificadas, lo que resulta en una reducción significativa en el valor de la cosecha y, en ocasiones, en una escasez de semillas certificadas (Gray *et al.*, 2010).

En México se ha reportado la presencia de 3 grupos de cepas: PVY^O, PVY^N, PVY^{NTN} (Hernández *et al.*, 2007; Herrera, 2007; NOM-041-FITO-2002, Ramírez *et al.*, 2009) y una cepa recombinante similar al PVY^{-L26}=PVY^Z que, aunque genéticamente es similar al PVY^N, no produce necrosis en tabaco (Kerlan *et al* 2011; Robles *et al* 2010).

Producción Mundial de Papa

Durante el ciclo 2021, el área de siembra fue de 18, 132, 694 ha y una producción de 376, 119, 974 t, donde, China Continental fue el principal productor con 94,300,000 t, seguido de India con 54, 230, 000 t, y en tercer lugar Ucrania con 21, 356, 320 t (FAOSTAT, 2021), para el mismo ciclo, México ocupó el 35, con una producción de 1, 947, 761 t (SIAP, 2021).

Producción Nacional de Papa

Durante el ciclo 2021, el área de siembra en México fue de 61, 293 ha y una producción de 1, 947, 761 t, donde, Sonora fue el principal productor con 531, 293 t, abarcando alrededor del 27% en la producción nacional, seguido de Sinaloa con 466, 547 t, y en tercer lugar Puebla con 164, 834 t, mientras que, Coahuila ocupó el lugar 15, con una producción de 10, 554 t (SIAP, 2021).

Producción de Papa en Coahuila

Durante el ciclo 2021, el área de siembra fue de 310 ha, con una producción total de 10,554 t, donde, Arteaga fue el principal productor con 6,901 t, lo que representa el 65% de la producción estatal, seguido de Ocampo con 2,626 t, y en tercer lugar Saltillo con 1, 026 t (SIAP, 2021).

Descripción del Virus

Ubicación Taxonómica (ICTV, 2022)

Super reino: Riboviria

Reino: Orthornavirae

Phylum: Pisuviricota

Clase: Stelpaviricetes

Orden: Patatavirales

Familia: Potyviridae

Género: Potyvirus

Especie: Potato Virus Y

Propiedades del Virión y del Genoma

Morfología de la Partícula

Los viriones de PVY tienen forma de varilla filamentosa y flexuosa, con una simetría helicoidal y una longitud de 730-740 nm por un diámetro de 11-12 nm (Quenouille, 2013; Smith, 1931; Smith *et al.*, 1988).

Punto de Inactivación Térmica

Se ha estimado que en savia de tabaco varía de 50 °C para un aislado de tomate (Clark y Hill, 1978) y de 74 °C para un aislado de PVY^N (Horvath, 1967b). También se tienen registros de una temperatura de 56 a 72 °C para PVY^O, de 64 °C para PVY^N y de 58 a 60 °C para PVY^C (Horvath, 1966a, 1966b, 1967a), por lo que dependerá de la cepa de PVY (Kerlan, 2006).

Punto Final de Dilución

En savia de tabaco es de 1×10^{-4} a 2×10^{-6} para PVY^O, 2×10^{-6} para PVY^N y 2×10^{-1} a 1×10^{-4} para PVY^C (Horvath, 1966a, 1966b, 1967a), siendo PVY^N la que alcanza uno de las mayores concentraciones en savia (Kerlan 2006),

característica que puede facilitar su diseminación (Horvath, 1966a, 1966b, 1967a).

Longevidad In vitro

La longevidad In vitro a 18-22°C es de 1 hasta 50 días, según el investigador y la cepa del virus (Clark y Hill, 1978; Klinkowski y Schmelzer, 1957), de 18 a 31 días para PVY^O, de 21 a 27 días para PVY^N y de 15 a 18 días para PVY^C (Horvath, 1966a , 1966b , 1967a).

Las hojas son el mejor material infectado por virus para almacenar, por lo que, PVY en el follaje de papa o tabaco se puede almacenar de manera efectiva a -18°C, por lo que, para la conservación a largo plazo, las muestras infectadas con PVY secadas y almacenadas sobre cloruro de calcio a 4 °C, pueden permanecer infectivas durante 15 años, aunque la inoculación de dicho material a veces puede no tener éxito (De Bokx y Vander, 1987), además, el PVY también se puede conservar a largo plazo almacenando la savia clarificada que contiene virus en o sobre nitrógeno líquido (De Wijs y Suda-Bachman, 1979) o mediante liofilización (Van Regenmortel, 1982). Las propiedades antigénicas pueden conservarse durante un año en extractos crudos liofilizados de plantas de tabaco infectadas (Purcifull *et al.*, 1975).

Inclusiones

PVY induce la formación de inclusiones en forma de reguilete, agregados laminados cortos y curvados en el citoplasma del tejido infectado (Kerlan, 2006).

Ácido nucléico

El genoma consta de un ARN de cadena sencilla (Burrows y Zitter, 2005; Kehoe y Jones, 2011; Smith, 1931; Smith *et al.*, 1988) con sentido positivo que actúa como RNAm en la célula hospedera, con una longitud de aproximadamente 9,7 kb y con un peso molecular de 3.1×10^{-6} (Makkouk y Gumpf, 1975) a 3.2×10^{-6} (Hinostroza, 1975). El porcentaje de RNA en la partícula va de 5.4% a 6.4%

(Stace y Tremaine, 1970; Makkouk y Gumpf, 1975; Leiser y Richter, 1978; Kerlan, 2006), el cual contiene un único marco de lectura abierto (ORF) flanqueado por regiones no codificantes, este ORF se traduce como un único polipéptido de aproximadamente 350 kDa con una proteasa VPg unida covalentemente al extremo 5' mediante una tirosina y una cola de poli adenosina en el extremo 3' del genoma (Carrington y Freed, 1990; Quenouille, 2013; Susaimuthu *et al.*, 2008; Wylie, 2017) que es procesado proteolíticamente para madurar las proteínas virales: P1-pro, HC-Pro, y NIa (Chung *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2001; Astier *et al.*, 2007).

Los productos génicos finales incluyen a las siguientes proteínas: a) P1-pro; b) componente de ayuda-proteasa (HC-Pro); c) P3; d) 6K1; e) proteína de inclusión citoplasmática (CI); f) 6K2; g) proteína de inclusión nuclear a (NIa); h) proteína de inclusión nuclear b (NIb); i) proteína de cápside (CP) (Urcuqui-Inchima *et al.*, 2001; Hu *et al.* 2009; Karasev y Gray, 2013).

Proteína

El contenido de proteína en la partícula va de 93.6% a 94.6%, y las partículas contienen solo dos proteínas; VPg y proteína de la cápside (CP), esta última con peso molecular de 29.95 kDa (Shukla *et al.*, 1986).

Sintomatología en Papa por Grupo de Cepas de PVY

Los síntomas ocasionados por PVY pueden variar mucho entre la variedades de papa, y existen numerosas cepas que varían significativamente en la expresión de la enfermedad, asimismo, los síntomas de la enfermedad pueden estar ausentes en algunos cultivares y pueden variar desde muy ligeros hasta la muerte de la planta, dependiendo de la interacción del cultivar y la cepa (Gray *et al.*, 2010; Green *et al.*, 2017; Nolte *et al.*, 2009), por ende, los síntomas dependerán de la variedad afectada, cepa del virus, condiciones climáticas en donde se desarrolla el cultivo y si la infección es primaria (inoculación por áfidos) o

secundaria (cuando el tubérculo madre está infectado) (Draper *et al.*, 2002; Lacomme *et al.*, 2017; Gray *et al.*, 2010).

Las plantas con infecciones primarias presentan síntomas en las hojas de la parte superior de la planta, que incluyen moteado ligero a severo y distorsión (arrugamiento), mientras que, en las hojas de la parte baja frecuentemente se observa manchas anulares amarillo verdosas y necrosis de las venas, además, los síntomas también pueden incluir colapso y caída de hojas intermedias que permanecen colgadas al tallo (Beczner *et al.*, 1984).

Las plantas con infecciones secundarias están achaparradas y acartonadas, además, los anillos necróticos del tubérculo de papa también es un síntoma de la infección por algunas cepas de PVY en ciertos cultivares (Beczner *et al.*, 1984; Beemster y De Bokx, 1987; Kerlan, 2006).

PVY^o

Los aislamientos de PVY^o son un problema importante en la producción de papa, generalmente induce síntomas como mosaico, moteado, arrugamiento y necrosis de foliar, seguido por la muerte de las hojas (Lorenzen *et al.*, 2006; Nobrega y Silberschmidt, 1944; Rigotti y Gugerli, 2007; Rolland *et al.*, 2008), además, produce una respuesta de hipersensibilidad en cultivares de papa portadores de los genes Ny (Gebre *et al.*, 1985; Ogawa *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2008) y las plantas presentan menor crecimiento (Smith *et al.*, 1988).

PVY^c

Los aislamientos de PVY^c genera respuesta de hipersensibilidad en cultivares de papa portadores de los genes de resistencia Nc (Blanco-Urgoiti *et al.*, 1996; Boonham *et al.*, 2002; Gebre *et al.*, 1985), además, ocasiona un rayado fino, y las plantas infectadas se quedan achaparradas, por otra parte, en algunas variedades de papa las cepas de PVY^c pueden inducir necrosis interna y externa del tubérculo (Bokx, 1980; CABI, 2023).

PVY^N

Los aislamientos de PVY^N en papa produce necrosis venal, mosaico y moteado en las hojas (Nobrega y Silberschmidt, 1944), sin embargo, cuando la infección se produce tardíamente el follaje puede no presentar síntomas, no obstante, los tubérculos de tales plantas pueden llevar consigo la enfermedad (Bokx, 1980). El PVY^N es mucho más peligroso, ya que se propaga rápidamente en campo, con aparición tardía de los síntomas y poca resistencia de la planta madura al virus (Bokx, 1980a).

Este grupo no induce respuesta de hipersensibilidad en los cultivares de papa que portan los genes de resistencia Ny y Nc, no obstante, produce un anillado suave y un moteado que va de medio a severo (Jacquot *et al.*, 2005; Kogovsek *et al.*, 2008; Lorenzen *et al.*, 2006; Ogawa *et al.*, 2008; Rigotti y Gugerli, 2007; Rolland *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2008).

PVY^{NTN}

Esta cepa causa necrosis en los tubérculos y hojas de papa (Bokx, 1980; Ogawa *et al.*, 2008). Este grupo está relacionado serológicamente con el grupo N (Singh *et al.*, 2008).

PVYN-Wi

Este grupo de cepas induce mosaico leve en las hojas de papa y tiene reacción serológica similar a los del grupo PVY^O (Tribodet *et al.*, 2005).

PVY^Z y PVY^E

Los síntomas que causan estos grupos de cepas se diferencian del PVY^O por causar la enfermedad mancha anular necrótica del tubérculo de papa (PTNRD) en las variedades Bea y Yucon Gold (Tribodet *et al.*, 2005).

Rango de Hospederos y Sintomatología

Hospederos primarios infectados naturalmente

PVY tiene una amplia gama de hospederos que infecta de forma natural (Gray *et al.*, 2010), incluye cultivos fundamentales como papa (*Solanum tuberosum* L.), pimiento (*Capsicum annuum* L.), tabaco (*Nicotiana* spp.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Jeffries, 1988; Kerlan y Moury, 2008), tomate de cascara (*Physalis oxycarpa*) (Apodaca, 2016), tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*), dalia (*Dahlia* spp.), petunias (*Petunia* spp.) (Kerlan, 2006; Quenouille, 2013), además, de plantas de menor importancia y malas hierbas como toloache (*Datura* spp.), dulcamara (*Solanum dulcamara*) e hierba mora (*Solanum nigrum*) (Jeffries 1988; Quenouille, 2013).

Hospederos Experimentales

Se han reportado 495 especies en 72 géneros de 31 familias, incluyendo 287 especies en 14 géneros de la familia Solanaceae (entre las que se encuentran 141 especies del género *Solanum* y 70 especies de *Nicotiana*), 28 especies de Amaranthaceae, 25 especies de Leguminosae, 20 especies de Chenopodiaceae y 11 especies de Compositae (Edwardson y Christie, 1997).

Hospederos de Ensayo

Papa silvestre (*Solanum demissum*) y el clone *S. demissum* A6 (*S. demissum* x *S. tuberosum* cv Aquila) son hospederos que produce lesiones locales cuando se inoculan con PVY, incluyendo PVY^N (Beemster y De Bokx, 1987).

Hospederos de diagnóstico

Las especies que son útiles para distinguir entre cepas de PVY y patotipos incluyen:

a) Tabaco (*N. tabacum*); cvs White Burley, Samsun NN y Xanthi: las cepas PVY^O causan moteado o mosaico, con aclarado de venas y epinastia (Lorenzen *et al.*, 2006; Rigotti y Gugerli, 2007; Rolland *et al.*, 2008).

Dentro del grupo de PVY que no producen necrosis, además de PVY^O, se encuentran las cepas PVY^C, PVY^Z y PVY^E, las cuales son reconocidas como inductoras de mosaico y manchas leves en las hojas (Gebre *et al.*, 1985; Karasev *et al.*, 2010; Nobrega y Silberschmidt, 1944; Smith *et al.*, 1988), en cambio, el grupo necrótico (PVY^N, PVY^{NTN} y PVY^{N-Wi}) destaca por su habilidad para provocar necrosis en las nervaduras de las hojas de *N. tabacum* cv. xanthi (Tribodet *et al.*, 2005; Nobrega y Silberschmidt, 1944; Ramírez *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2008; Hu *et al.*, 2009), provocando que las hojas colapsen prematuramente (Smith *et al.*, 1988; Delaunay, 2007).

b) Papa (*S. tuberosum* spp. *tuberosum*), cvs Desiree, Eersteling/Duke of York y Maris Bard: expresan reacción de hipersensibilidad cuando se inoculan mecánicamente o por injerto con PVY^O, PVY^C y PVY^Z (Hu *et al.*, 2009; Galvino *et al.*, 2012), en cambio, PVY^N no induce lesiones locales en hojas inoculadas (Jones, 1990; Kerlan *et al.*, 1999a), por otra parte, PVY^{NTN} ocasiona necrosis de tubérculos en cultivares Nicola, Nadine y Hermes (Browning *et al.*, 2004).

c) *Chenopodium amaranticolor*: PVY^O y PVY^C causan lesiones locales en la hoja inoculada a los 10-14 días después de la inoculación, por otra parte, PVY^N ocasiona infección sistémica y no produce lesiones locales en esta planta (Jacquot, 2007; Salazar, 1995).

d) Chile (*Capsicum annuum*), cvs; Bastidon, Yolo y Florida VR-2: son cultivares de chile que sirven para diferenciar los tres patotipos de PVY (Gebre *et al.*, 1985). PVY^C induce severos síntomas de mosaico y/o necrosis (Gebre *et al.*, 1985).

Hospederos para propagación

a) Tabaco (*Nicotiana tabacum*); cvs Xanthi, White Burley y Samsun: son cultivares recomendables para la purificación de virus (Ellis *et al.*, 1996; Gugerli y Fries, 1983; Rose y Hubbard, 1986; Sanz *et al.*, 1990).

b) Chile (*Capsicum* spp): se ha demostrado que algunos aislamientos de PVY de papa y tabaco causan infección (Horvath, 1966a, 1966b, 1967a; Marte *et al.*, 1991; Romancer *et al.*, 1994, d'Aquino *et al.* 1995). En la región mediterránea se han reportado aislamientos de PVY que producen necrosis de hojas y tallos (d'Aquino *et al.*, 1995; Fanigliulo *et al.*, 2005; Gebre *et al.*, 1985; Mascia *et al.*, 2010).

c) Tomate (*Solanum lycopersicum*): en la región mediterránea se han reportado aislamientos de PVY que producen necrosis de hojas y tallos, los aislamientos de PVY en tomate se separan en aislamientos necróticos que inducen mosaico y necrosis y aislamientos no necróticos, que solo inducen mosaico (d'Aquino *et al.*, 1995; Fanigliulo *et al.*, 2005; Gebre *et al.*, 1985; Kerlan, 2006; Mascia *et al.*, 2010).

d) Tomatillo (*Physallis oxycarpa*): en México se han reportado plantas con mosaicos (Apodaca, 2016) y plántulas con necrosis severa de en ensayos experimentales (invernaderos de la Dirección General de Sanidad Vegetal) inoculando aislados PVY^N de Canadá en plántulas de tomatillo bajo condiciones de invernadero (Cruz, 2001).

Distribución Geográfica

PVY ha sido detectado en todas las regiones del planeta donde se encuentran sus hospedantes naturales (Davy, 2009), por lo que, se encuentra distribuido en todo el mundo (Martínez *et al.*, 2001; Quenouille, 2013).

Diseminación y/o Introducción

El PVY puede introducirse y/o introducirse a una región o predio por insectos (áfidos) que se alimentaron recientemente en una planta infectada (cultivada o arvense) (Kerlan, 2006; Moury *et al.*, 2007), sin embargo, el tubérculo es el medio

más importante para la diseminación del PVY y otros patógenos a largas distancias. Es por eso por lo que la importación y movilización de tubérculos de papa de una región/país a otra/o representa un riesgo importante para la introducción de virus reglamentados. Por otro lado, aunque PVY puede transmitirse por savia (transmisión mecánica; maquinaria y herramientas contaminadas) (Coutts y Jones, 2015; German, 2001; MacKenzie *et al.*, 2018), injerto (Kerlan 2006) y *Cuscuta gronovii* (Edwardson y Christie, 1997), no es de esperar que estas formas de transmisión sean relevantes para la introducción y diseminación del virus en un área.

El PVY es transmitido por áfidos de manera no persistente-no circulativa (Martínez *et al.*, 2001), es decir, solo necesita unos segundos o minutos para adquirirlo y pocos segundos para transmitirlo (Smith *et al.*, 1988; Pérez *et al.* 2004; Burrows y Zitter, 2005). En la mayoría de los casos, el insecto solo puede retener el virus durante menos de 12 horas (Moury *et al.* 2007), sin embargo, algunos investigadores reportan tiempo de retención de hasta 17 horas, dependiendo de la cepa del virus y la especie de áfido, lo que explica porque los vectores pueden dispersar algunas cepas, como el PVY^N a largas distancias (Van Hoof, 1977, 1979).

Hay reportes que contabilizan 41 especies de áfidos transmisoras de PVY (Edwardson y Christie, 1997; Kerlan, 2006), por otra parte, Martínez *et al.* (2001), reportó 70 especies de áfidos vectores del PVY; esos autores reportan que todas las especies, excepto *Uroleucon* spp., transmiten PVY^O, además, Harrington y Gibson (1989), reportaron 9 especies de áfidos transmisoras de PVY^N. En papa, *Myzus persicae* es considerado por varios autores el vector más común y eficiente de PVY (Kostiwi 1975; Van Harten, 1983; Sigvald, 1984), asimismo, la presencia de áfidos de cereales no colonizadores como *Rhopalosiphum maidis*, *Rhopalosiphum padi* y *Schizaphis graminum* prácticamente asegura la propagación de PVY que ya está presente en un campo de papa (es decir, el que está contenido en las semillas de papa que se plantaron), por tal motivo, se

ha considerado que los áfidos no colonizadores son la causa principal del control deficiente de PVY (Halbert *et al.*, 2003).

En México, la importancia de las malezas como reservorio y fuente de inóculo primario del PVY para el cultivo de la papa no ha sido determinada, por lo que, pocas son las especies y la frecuencia con la que los investigadores han diagnosticado plantas arvenses infectadas con PVY en las áreas en donde se cultiva papa (Hernández *et al.*, 2007; Herrera, 2007). Por otra parte, no hay reportes de que la semilla sexual de papa pueda ser vía de transmisión del virus (De Bokx y Bander, 1987; Kerlan, 2006) y por lo tanto, los reservorios del virus que pueden ser fuente de inóculo en un área de producción, están limitados a las malezas perennes cuyas partes vegetativas (raíces, bulbos, tallos etc.) se mantiene viable durante todo el año y permiten al virus mantener su infectividad de un ciclo de cultivo a otro.

Métodos de Identificación

Los métodos para identificar cepas y aislamientos de PVY han evolucionado rápidamente de la última década, evidenciando la gran diversidad genética de este virus, y las dificultades para determinar la identidad genética de un aislamiento y asociarlo con el tipo de síntomas que causa (Tribodet *et al.*, 2005). El diagnóstico tradicional de virus en papa se realiza principalmente mediante el empleo de plantas indicadoras y métodos serológicos; sin embargo, algunos órganos de las plantas contienen bajas concentraciones de partículas virales, que impiden el correcto diagnóstico aun empleando microscopía electrónica o hibridación de ácidos nucleicos (Singh, 1998).

Desde que Smith (1931) describió el PVY, los investigadores han encontrado aislamientos que difieren significativamente en cuanto a los cultivos que infectan, los síntomas que causan y las pérdidas (Tribodet *et al.*, 2005). Un aislamiento de PVY puede afectar diferentes especies de plantas y por lo tanto no es posible clasificarlo usando exclusivamente el cultivo que infecta (Tribodet *et al.*, 2005),

por lo que, los investigadores han utilizado: a) Los síntomas que inducen en diferentes especies y variedades de plantas (caracterización biológica), b) la relación con anticuerpos en comparación con otras cepas (características serológicas) y c) la secuencia de nucleótidos del ARN (caracterización molecular), para diferenciar los aislamientos y clasificarlos en grupos de cepas o cepas individuales (González *et al.*, 2020; Lancomme *et al.*, 2017).

La situación actual de la clasificación de cepas de PVY mediante su caracterización con pruebas biológicas, serológicas y moleculares (PCR) es esencial para definir la situación fitosanitaria (cuarentenaria) de un área y establecer estrategias de certificación de semilla, manejo genético y legal de esta importante plaga.

Caracterización Biológica

La inoculación en hospederos indicadores ha sido y es un método esencial para discriminar cepas de PVY (Tribodet *et al.*, 2005; Karasev y Gray, 2013; Singh, 2008). Se basa en el análisis de la virulencia y la patogenicidad de los aislados virales, mediante el uso de plantas hospedantes indicadoras que expresan una gama de síntomas, de acuerdo con las diferentes propiedades del inóculo en estudio (Ramírez *et al.*, 2006; Hu *et al.*, 2009).

Caracterización Serológica

La identificación de un aislamiento con métodos serológicos requiere menos tiempo y recursos que la caracterización biológica (aislamientos, especies y variedades de plantas e invernadero), sin embargo, hasta la fecha no se cuenta con un grupo de antisueros que identifique, sin margen de error, los grupos de cepas reconocidos por su reacción en plantas inoculadas, por lo que la clasificación serológica de las variantes PVY^O , PVY^C , PVY^N y PVY^{NTN} , ha generado líneas de investigación y discusión debido a que los anticuerpos

policlonales específicos para la proteína de la cápside no pueden separar variantes (Van den Heuvel *et al.*, 1994; Weidemann y Maiss, 1996).

Las pruebas ELISA (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay) que utilizan anticuerpos policlonales y monoclonales disponibles comercialmente se utilizan en gran medida para la detección de PVY y la diferenciación de cepas. Sin embargo, aunque los ensayos serológicos pueden distinguir diferentes serotipos del virus, no pueden identificar aislados recombinantes (Karasev y Gray, 2013).

El diagnóstico por ImmunoStrip® o comúnmente llamadas tiras reactivas son un método rápido para detectar todas las cepas de PVY en follaje y brotes de papa. La prueba es altamente sensible (comparable a los métodos ELISA) y se puede completar en tan solo unos minutos sin equipo ni experiencia. La prueba PVY se recomienda para uso con hojas. No se sabe que esta prueba tenga una reacción cruzada con otros virus que se encuentran comúnmente en la papa (AGDIA, 2023).

Caracterización Genotípica (PCR)

Se ha desarrollado y empleado con éxito métodos moleculares basados en RT-PCR (Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction), RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism) y AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), los cuales se utilizan ampliamente en la detección y diferenciación de los principales genotipos de PVY (Du *et al.*, 2006; Chikh, *et al.*, 2010; Kogovsek *et al.*, 2008; Lorenzen *et al.*, 2006; Nie y Singh, 2002; Rigotti y Gugerli, 2007; Rolland *et al.*, 2008)

Estrategias de Control

Debido a que el PVY es un virus no persistente con una adquisición extremadamente rápida y una transmisión potencial, los insecticidas generalmente son ineficaces para controlar la propagación (Solomon-Blackburn y Barker, 2001), pues el vector se mueve hacia lugares más alejados donde no

esté presente el plaguicida y lleva consigo a la partícula viral potencialmente infectiva (Díaz *et al.*, 2010), por esta razón, las estrategias de control se basan en el mejoramiento de la resistencia, el uso de semillas de papa certificadas y regulaciones de cuarentena para evitar la propagación de asilamientos no autóctonos (García-Arenal y McDonald, 2003; Solomon y Barker, 2001).

En ocasiones, la incidencia de PVY no parece tener una relación directa con las poblaciones del vector, lo que indica que el control del insecto no es un parámetro único que permite prevenir la enfermedad (Aramburu *et al.*, 2006), por lo que, las prácticas de manejo adicionales incluyen la reducción de la propagación mecánica al desinfectar el equipo y limitar el tráfico en el campo, eliminar las plantas sintomáticas, controlar las papas “voluntarias”, plantar los bordes de los cultivos y controlar las enredaderas de papa antes de la temporada de crecimiento (Cabral *et al.*, 2009; Hooks y Fereres, 2006; Nolte *et al.* 2009; Rashki *et al.*, 2009; Van Toor *et al.*, 2009).

Mejoramiento Genético

El mejoramiento genético es el método más antiguo empleado para obtener cultivares resistentes, estos cultivares pueden ser producidos mediante métodos de mejoramiento genético convencionales o por transformación de plantas, sin embargo, presenta dos grandes desventajas: el tiempo prolongado que se requiere y la probabilidad de que aparezcan nuevas variantes virales (Davy, 2009).

Control Químico

El control químico incluye tratamientos del tejido foliar con diferentes clases de insecticidas como pueden ser los organofosforados, carbamatos, piretrinas y neonicotinoides, además, diversos estudios realizados en Nueva Zelanda revelaron que el tratamiento de semillas con insecticidas organofosforados, seguido de una aplicación foliar con un insecticida del tipo de las piretrinas,

mantiene la población de áfidos en zonas cultivadas con papa dentro de los límites permisibles, sin embargo, este programa de control puede generar resistencia a los insecticidas, por lo que no se puede aplicar por períodos prolongados (Van Toor *et al.*, 2009).

Control Biológico

En cuanto al control biológico se han utilizado alternativas relacionadas con el empleo de enemigos naturales de los áfidos; en particular, en el caso de los áfidos transmisores de PVY ha dado resultados positivos el empleo de poblaciones predadoras u hongos entomopatógenos (Davy, 2009). No obstante, estas variantes aún se encuentran en fase de experimentación en condiciones de campo (Cabral *et al.*, 2009; Rashki *et al.*, 2009).

Control Cultural

Los métodos de control cultural van a comprender desde el tiempo de plantación del cultivo de interés de acuerdo con los máximos de migración de los áfidos hasta el empleo de plantas trampas; en el caso de las solanáceas, se han empleado fundamentalmente sorgo (*Sorghum vulgare*) (Avilla *et al.*, 1996), maíz (*Zea mays* L.) (Ferreles, 2000), Soya (Difonzo *et al.*, 1996) y girasol (*Helianthus annuus*) (Simons, 1957).

Control Legal

En México, el PVY es una plaga reglamentada bajo control oficial y su presencia/ausencia se monitorea año con año mediante muestreo de follaje, pruebas de laboratorio e inspección de la cosecha en todos los lotes de semilla pre-nuclear (in vitro), nuclear (invernadero) y tubérculo-semilla producida en predios registrados a nivel nacional (NOM-041-FITO-2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de Evaluación

La parcela experimental utilizada para evaluar las pérdidas causadas por el PVY se ubica en el Campo Experimental denominado “El Bajío” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), el cual se encuentra situado al $25^{\circ} 21' 21''$ N y al $101^{\circ} 02' 26''$ O (Figura 1). Adicionalmente se tomaron muestras de follaje en 4 predios comerciales de cultivo de papa variedad Fianna, manejados convencionalmente por sus propietarios. Los predios de producción se ubican en las localidades Emiliano Zapata y Huachichil, pertenecientes al Municipio de Arteaga, Coahuila, los cuales se encuentran situados al $25^{\circ} 06' 00''$ N y al $100^{\circ} 45' 14''$ O y $25^{\circ} 12' 15''$ N y al $100^{\circ} 47' 34''$ O (Figura 1).



Figura 1. Sitios de evaluación; parcela experimental, UAAAN, Saltillo, Coahuila; predios muestreados en Arteaga, Coahuila

Obtención del Material Genético

Durante la cosecha de papa ciclo 2021 en la región productora de papa de Coahuila y Nuevo León, México, se colectaron tubérculos variedad Fianna (Figura 2) (Cuadro 1). Los tubérculos se colocaron en arpillas, se rotularon y se trasladaron a la UAAAN, en donde se mantuvieron bajo condiciones de laboratorio hasta la obtención de brotes de 2 a 7 cm.



Figura 2. Colecta de tubérculos durante la cosecha de papa en la región productora de papa de Coahuila

Cuadro 1. Número de tubérculos colectados en cada predio.

Predio	NDT
Altamira, N.L.	100
San Juan del Prado, N.L.	100
Emiliano Zapata, Coah.	100
Huachichil, Coah.	100

NDT= Número de tubérculos

Método de Diagnóstico de PVY

Se utilizaron dos métodos de diagnóstico de PVY, ambos basados en la reacción de antígeno-anticuerpo: El método de ImmunoStrips® (AGDIA, 2023) y el método de Ensayo de Inmunoadsorción Ligado a Enzimas en su variante de doble sándwich de anticuerpos DAS-ELISA (Engvall y Perlmann, 1971).

Método de Diagnóstico por ImmunosTrips®

Se seleccionaron 220 tubérculos (55 de cada predio muestreado) con los brotes más desarrollados y se formaron grupos con cinco tubérculos (Fig. 3).



Figura 3. Selección de tubérculos y formación de grupos diagnosticados

Se realizaron muestras compuestas mezclando cinco cortes de diferentes brotes (1 corte por brote), con ayuda de una balanza analítica se pesó 0.15 g de tejido (brotes), y se colocó entre los revestimientos de malla, cerca de la parte inferior de la bolsa de extracción. El tejido a fondo se maceró con un objeto romo y se permitió que la solución resultante se asentara durante 3 minutos (Fig. 4)

Se repitió el procedimiento antes descrito en cada uno de los grupos de tubérculos conformados.



Figura 4. Obtención y macerado de muestras de brotes

Finalmente, se colocaron las tiras reactivas en su respectiva bolsa y se dejaron a que estas reaccionaran (Fig. 5).

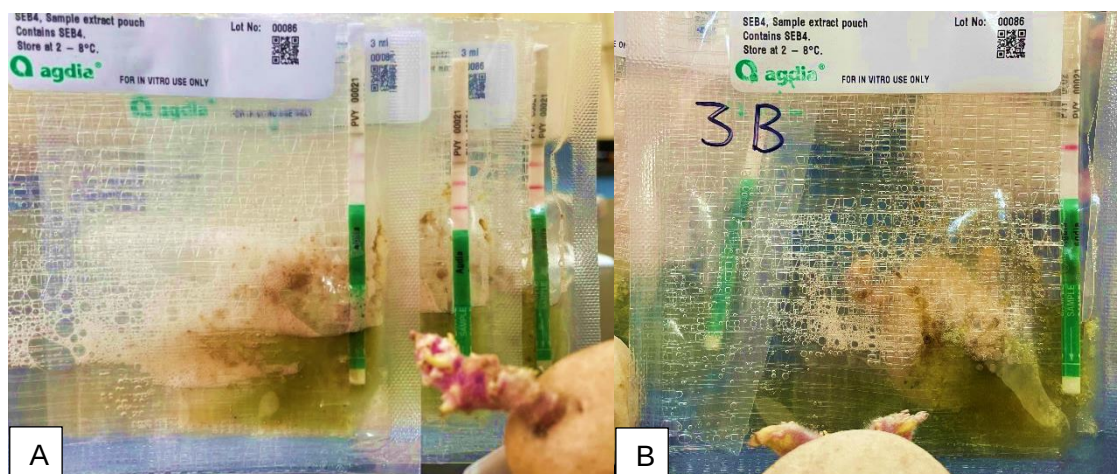


Figura 5. A) Tiras reactivas con reacción positiva a PVY; B) Tiras reactivas con reacción negativa a PVY

Se separaron los tubérculos en los que se detectó PVY de los que resultaron negativos a la presencia del virus para usarlos como semilla-tubérculo. 56 tubérculos (28 infectados y 28 sanos) se sembraron en bolsas de polietileno bajo condiciones de invernadero y se cubrieron con una malla antiáfidos (Fig. 6). 120 tubérculos (100 sanos y 20 infectados) se mantuvieron bajo condiciones de invernadero para ser diagnosticados por el método ELISA previo a la siembra en la parcela experimental.



Figura 6. Bolsas de polietileno utilizadas en la siembra de tubérculos

Método de Diagnostico por DAS-ELISA

Plántula

Transcurridos 15 días después de la germinación de la planta se tomaron muestras de follaje (Fig. 7) y se diagnosticaron individualmente por la técnica de ELISA tipo Sandwich de doble anticuerpo (DAS), utilizando kits de AGDIA.

Se tomaron 3 folíolos por planta (base baja, media y alta), se mezclaron y se determinó la presencia o ausencia de PVY.



Figura 7. Muestreo y mezcla de folíolos de plántulas de papa

Semilla Tubérculo

120 tubérculos se mantuvieron bajo condiciones de invernadero y se diagnosticaron individualmente por el método de ELISA tipo Sandwich de doble anticuerpo (DAS), utilizando kits de AGDIA. Se obtuvieron muestras de brotes de cada tubérculo y se determinó la presencia o ausencia de PVY.

Las lecturas de la placa se realizaron en un lector ELISA marca BIO-RAD a los 20, 25, 30, 35, 40 y 45 min, a una absorbancia de 405 nm, considerando positivas las muestras con una absorbancia igual o superior al testigo positivo (Fig. 8) (Fig. 9).

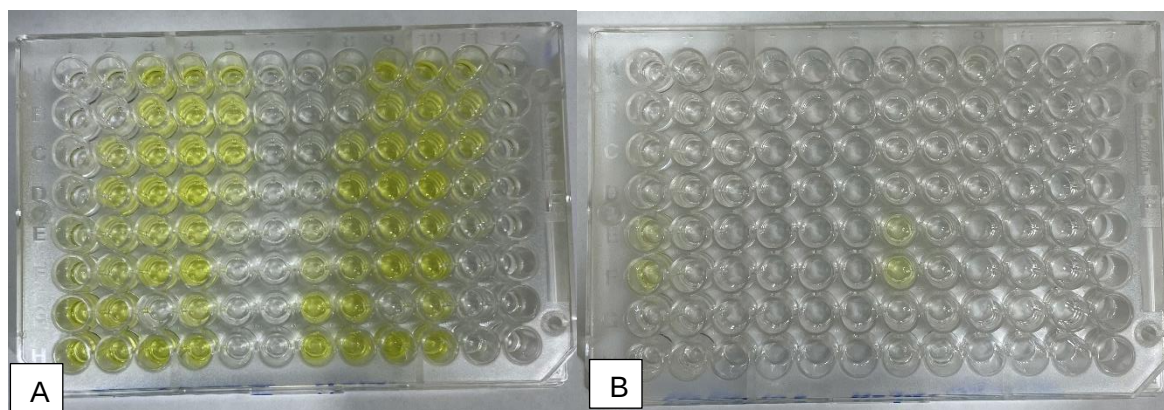


Figura 8. Placas con muestras de folíolos procesadas; A) placa con muestras positivas a PVY; B) placa con muestras negativas a PVY



Figura 9. Placa con muestras de brotes de tubérculos procesados

Diseño Experimental

Trasplante

En “El Bajío”, se sembraron 4 surcos de 1.40 m de largo con plántulas infectadas con PVY y la misma cantidad de surcos con la misma longitud con plántulas sanas (7 plantas por surco). Se utilizó un diseño completamente al azar con dos tratamientos (plantas sanas e infectadas) y 4 repeticiones. Las plántulas se colocaron a una distancia de 20 cm entre unidad experimental y una distancia entre surcos de 80 cm (Fig. 10).



Figura 10. Plántulas de papa trasplantadas

Semilla tubérculo

En “El Bajío”, se sembraron 7 surcos de 5 m de largo, en los cuales se distribuyeron 20 tubérculos infectados con PVY y 100 sanos, estableciendo un diseño completamente al azar con 6 tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: tubérculo infectado con PVY, tubérculo sano (testigo) y plantas inoculadas con PVY, a los 20, 40, 60 y 80 días después de la emergencia.

Los tubérculos (los cuales ya venían brotados) se colocaron directamente en el suelo, a una profundidad aproximada de 10 cm, con una distancia de 20 cm entre unidad experimental y una distancia entre surcos de 80 cm (Fig. 11).



Figura 11. Siembra de semilla tubérculo de papa

Se instaló un sistema de riego por goteo, y para evitar la transmisión de la enfermedad entre tratamientos, los surcos se cubrieron con malla antiáfidos soportada por marcos de alambrón con una altura de 1.40 m (Fig.12).



Figura 12. Surcos cubiertos con malla antiáfidos

Manejo del Cultivo

Durante el ciclo del cultivo se realizaron aplicaciones de plaguicidas (insecticidas y fungicidas) en forma de aspersión sobre las plantas y las cubiertas, con el objetivo de prevenir la infestación e infección de agentes externos. Las aplicaciones iniciaron 10 días después de la emergencia y se aplicaron cada tercer día durante 35 días, adicionalmente, se realizaron aplicaciones de fertilizantes granulados y foliares, comenzando 10 días después de la siembra y aplicando 4 veces por mes durante 3 meses (Fig.15), cabe mencionar que la dosis de plaguicidas y fertilizantes fue la misma para todas las plantas.



Figura 13. Agroquímicos utilizados; A) Fertilizante granulado; B) Plaguicidas

Inoculación

La transmisión se llevó a cabo mecánicamente en 4 etapas fenológicas del desarrollo del cultivo: plántula (20 días después de la emergencia), surco verde (40 DDE), inicio de floración (60 DDE) y madurez (80 DDE). Se inocularon 20 plantas en cada etapa, por otro lado, las plantas trasplantadas no se tomaron en cuenta en este procedimiento.

Procedimiento de Inoculación

Se pesaron 3 gramos de tejido foliar joven proveniente de plantas infectadas con PVY, se colocaron en un mortero previamente esterilizado y enfriado, y se agregaron 30 ml de una solución amortiguadora de fosfatos con un pH de 8.0

(con una relación de 1 gr de hoja por 10 ml de buffer) y se maceró con un pistilo previamente esterilizado y enfriado, finalmente, con ayuda de una gasa esterilizada se filtró la savia en un recipiente y se agregaron 0.0340 gramos de tierra de diatomeas (celite), manteniendo el recipiente en hielo durante todo el procedimiento (Fig. 14).

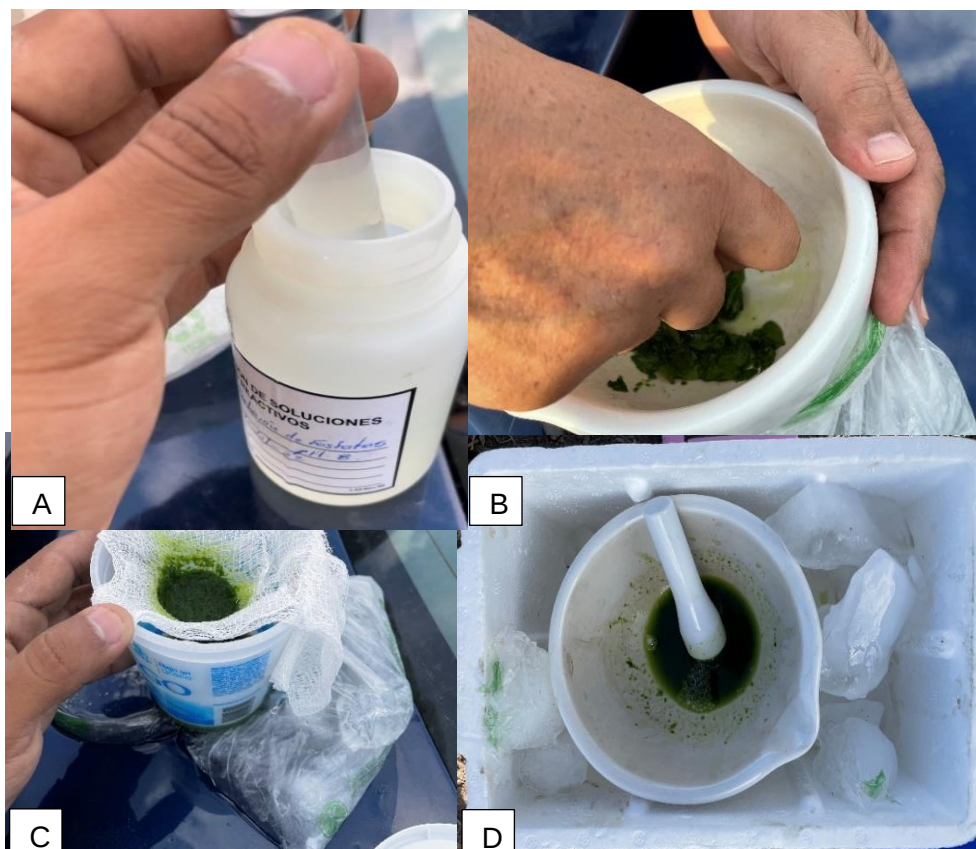


Figura 14. A) Buffer de fosfatos B) Macerado del tejido (foliolos); C) Filtrado de savia con ayuda de una gasa; D) Mortero con savia colocado en hielo

Con ayuda de un pistilo se frotó la savia de las plantas enfermas en 3 de los foliolos más jóvenes en cada una de las plantas sanas; comenzando por la base de la hoja y continuando hasta el ápice, evitando la presión excesiva. Inmediatamente después de la inoculación el tejido inoculado se asperjó con la solución amortiguadora de fosfatos con pH de 8.0 hasta escurrir (Fig. 15). Para

evaluar si la inoculación resultó efectiva y si el resto de los tratamientos permanecían libres del virus, dos semanas después de cada inoculación se muestrearon folíolos (3 folíolos por planta) de plantas inoculadas y plantas sanas y se procesaron individualmente por el método de ImmunoStrip® previamente descrito (Fig. 15).



Figura 15. A-C) Inoculación de plantas sanas con savia proveniente de plantas infectadas con PVY; D) Muestreo de folíolos diagnosticados por ImmunoStrips

Predios Comerciales

Mediante muestreo de folíolos y pruebas DAS-ELISA, se determinó el porcentaje de incidencia de PVY en cuatro predios comerciales de papa variedad Fianna,

ubicados en la zona productora de papa de Coahuila; Emiliano Zapata (50 ha), San Felipe (40 ha), La Mesa (50 ha) y Huachichil (60 ha). En cada predio se realizaron cuatro muestreos, tomando como referencia las mismas fechas en las cuales se llevaron a cabo las inoculaciones en la parcela experimental; 20, 40, 60 y 80 DDE (Fig. 16). En cada muestreo se llevó a cabo de acuerdo con lo establecido en la NOM-041-FITO-2002, con una modificación en la cantidad de foliolos a muestrear, ya que se colectaron 200 por parcela en lugar de 150 como marca la NOM-041-FITO-2002.

En cada predio se seleccionaron 5 sitios al azar y en cada uno de estos sitios se colectaron 40 foliolos jóvenes, uno por planta (Cuadro 2), los cuales se colocaron en bolsas de polietileno, se rotularon y se colocaron en un empaque térmico para evitar el deterioro y contaminación de las muestras, manteniendo la temperatura entre 5-12 °C, posteriormente se trasladaron a la UAAAN.



Figura 16. Muestreo de foliolos en predios comerciales de papa variedad Fianna

Cuadro 2. Ha= Hectáreas, No. Muestreos= Número de Muestreos, DDE= Muestreos Después de la Emergencia, No. Foliolos=Número de Foliolos

Predio	Ha	No. Muestreos	DDE	No. de foliolos
Emiliano Zapata	50	4	20	200
			40	200
			60	200
			80	200
San Felipe	40	4	20	200
			40	200
			60	200
			80	200
La Mesa	50	4	20	200
			40	200
			60	200
			80	200
Huachichil	60	4	20	200
			40	200
			60	200
			80	200

Evaluación

Campo Experimental “El Bajío”-Trasplante

Los surcos sembrados con plántulas se cosecharon 120 días después del trasplante, los tubérculos obtenidos de cada tratamiento se limpiaron para eliminar restos de suelo. Con ayuda de una báscula digital, se pesaron los tubérculos y se obtuvo el rendimiento de cada uno de los tratamientos. Para obtener el rendimiento por hectárea, se calculó el rendimiento medio en kg por planta y se multiplicó por 55, 556 (densidad de siembra en la región). Las

pérdidas ocasionadas por PVY se calcularon comparando los rendimientos de cada tratamiento con el testigo (Fig. 17).

Campo Experimental “El Bajío”-Semilla Tubérculo

Los surcos sembrados con semilla tubérculo se cosecharon 120 días después de la siembra y se calcularon las pérdidas ocasionadas por PVY en la parcela experimental cuando se utiliza semilla tubérculo infectada y cuando la planta se infecta a los 20, 40, 60 y 80 DDE. Los datos de pérdidas contra fecha de infección se graficaron y procesaron estadísticamente para seleccionar el modelo que mejor describía la relación entre estas dos variables. Los modelos de pérdidas evaluados fueron el Exponencial, Ley de Potencia y Berger (Campbell y Madden, 1990). Adicionalmente, se evaluó la calidad de los tubérculos de acuerdo con la Norma Para la Patata (Papa) de Consumo (FAO, 2020). Con ayuda de un vernier, se midieron los tubérculos producidos de cada tratamiento, se clasificaron por categoría (primeras, segundas y terceras) y se contabilizaron.

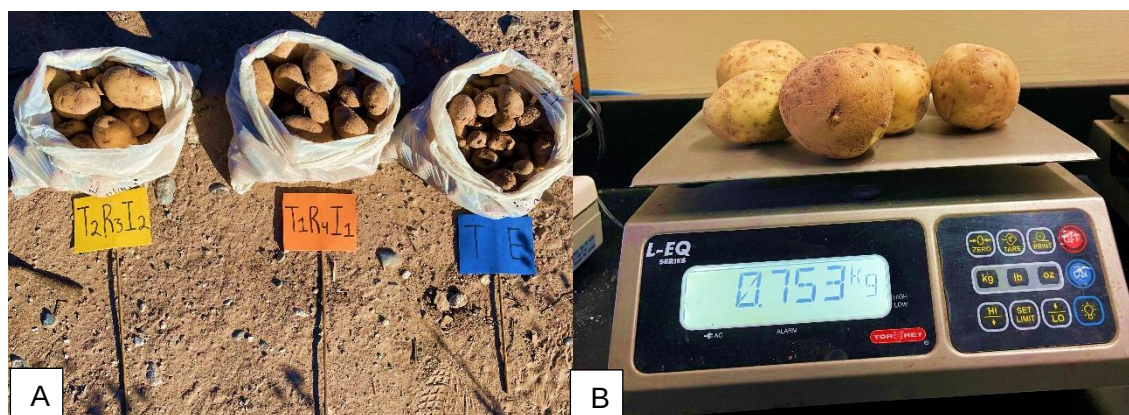


Figura 17. A) Tubérculo cosechados colocados en bolsas de polietileno; B) Obtención de rendimiento de los tratamientos

Predios Comerciales

En cada predio y fecha de muestreo se formaron 20 muestras compuestas de 10 folíolos (Fig. 18) y se diagnosticaron con la prueba DAS-ELISA. De acuerdo con los resultados de las pruebas DAS-ELISA en cada predio y fecha de muestreo, se calculó el porcentaje de incidencia. Utilizando el modelo ajustado a los datos de pérdidas vs fecha de infección en la parcela experimental, se estimaron las pérdidas en rendimiento en cada uno de los predios comerciales. Estos datos se extrapolaron a la cantidad de Ha sembradas con la var. Fianna para estimar las pérdidas en rendimiento de papa ocasionadas por PVY en el estado de Coahuila.



Figura 18. Preparación de muestras compuestas de folíolos de papa para ser diagnosticadas por DAS-ELISA

Se estimaron las pérdidas en rendimiento en base a el modelo elaborado con los datos de las parcelas experimentales sembradas con plántula y semilla tubérculo y con la incidencia encontrada en los muestreos de los predios comerciales.

RESULTADOS

Campo Experimental “El Bajío”-Trasplante

El rendimiento en los surcos sembrados con plántulas infectadas fue de 0.4 kg/planta, significativamente menor al de las plantas sanas que fue de 0.57 kg/planta (Fig. 19). Basándose en los datos obtenidos, el rendimiento por hectárea fue de 22.22 t/ha utilizando semilla-tubérculo infectada y 31.66 t/ha utilizando semilla sana (Figura 20). Utilizando estos datos se calculó que la pérdida en rendimiento por infecciones secundarias de PVY en las plantas trasplantadas en la parcela experimental fue de 30%. En este ensayo no se evaluó el tamaño de plantas y tubérculos, sin embargo, se observó una reducción en el crecimiento de las plantas infectadas por PVY (Fig. 21), la cuales produjeron menos tubérculos y más pequeños que las plantas libres del virus (Fig. 22).

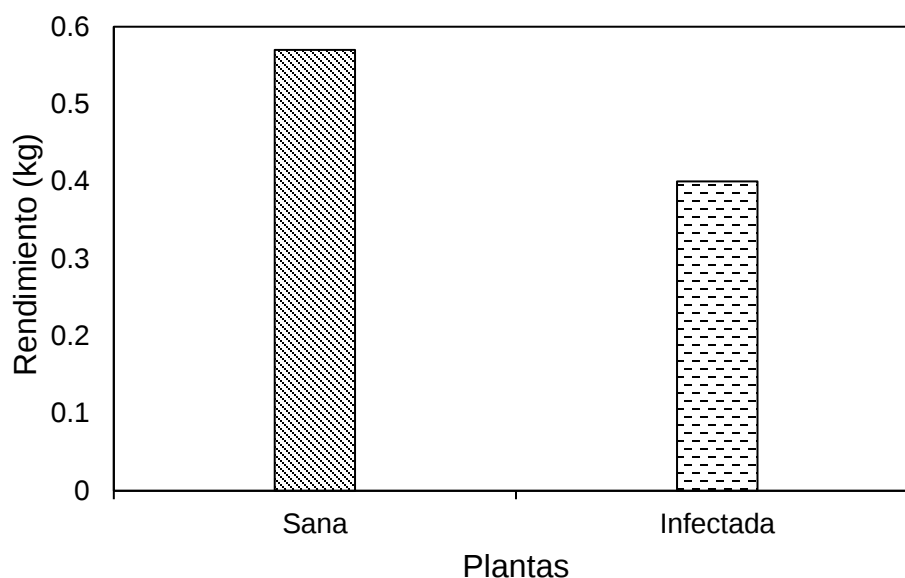


Figura 19. Rendimiento de plantas cultivadas a partir de semilla tubérculo sana e infectada por PVY.



Figura 20. Rendimiento por hectárea en base a los datos obtenidos en parcela experimental.



Figura 21. A) Plantas provenientes de semilla tubérculo infectada con PVY;
B) Plantas provenientes de semilla tubérculo libre de PVY

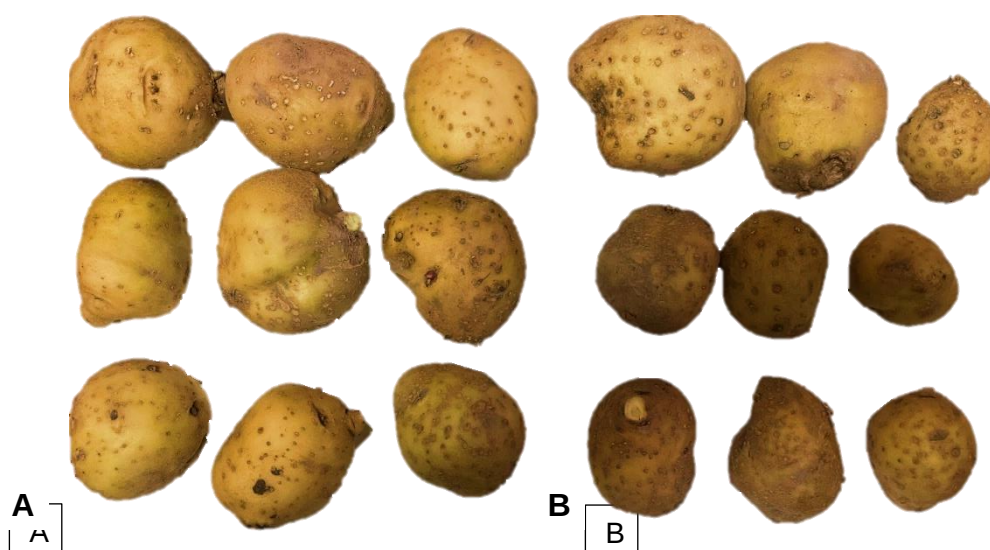


Figura 22. A) Tubérculos producidos por plantas cultivadas a partir de semilla-tubérculo libre de PVY; B) Tubérculos producidos por plantas cultivadas a partir de semilla-tubérculo infectada por PVY

Campo Experimental “El Bajío”-Semilla tubérculo

El rendimiento de las plantas cultivadas a partir de semilla-tubérculo infectada fue de 0.55 kg/planta, significativamente menor al de las plantas sanas que fue de 1.17 kg/planta (Fig. 23). Basándose en los datos obtenidos, el rendimiento por hectárea fue de 30.72 t/ha utilizando semilla tubérculo infectada y 64.84 t/ha utilizando semilla sana (Figura 24). Con estos datos se calculó que la pérdida en rendimiento por infecciones secundarias por PVY (provenientes de tubérculo) en la parcela experimental fue de 52.9% (Fig. 25).

Las plantas inoculadas a los 20, 40, 60 y 80 DDE, mostraron rendimientos de 0.81, 0.97, 1.06 y 1.16 kg, respectivamente. Basándose en los datos obtenidos, el rendimiento por hectárea fue de; 44.88, 53.65, 58.68 y 64.44 t cuando las plantas se infectan a los 20, 40, 60 y 80 DDE, respectivamente. Con estos datos se calculó que las pérdidas en rendimiento por infecciones primarias de PVY en

la parcela experimental fueron de 30.78, 17.29, 8.51 y 0.61 %, cuando la planta se infecta a los 20, 40, 60 y 80 DDE, respectivamente (Fig.25).

Se observó una disminución de las pérdidas conforme se incrementó la edad de la planta al momento de la infección con PVY. Utilizando esta relación entre la edad en que se infecta la planta y la pérdida en rendimiento, se probaron los modelos para estimación de pérdidas: Exponencial invertido, Berger y Ley de Potencia (Campbell y Madden, 1990). El modelo que mejor describe la relación entre estas variables es el de Berger $Y = 1 / \left[1 + e \left(- \left\{ \ln \left[\frac{y_0}{1-y_0} \right] + r * dde \right\} \right) \right]$ (Fig. 25), como lo indica el valor de coeficiente de determinación R^2 y la alta significancia de la regresión al utilizar este modelo.

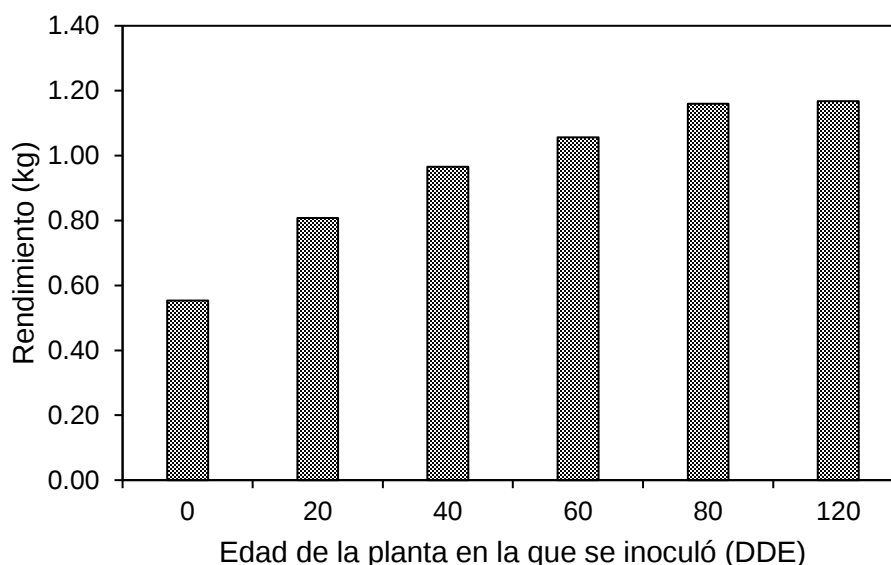


Figura 23. Rendimiento de plantas cultivadas a partir de semilla tubérculo infectada por PVY, plantas inoculadas a los 20, 40, 60 y 80 DDE, y plantas sanas

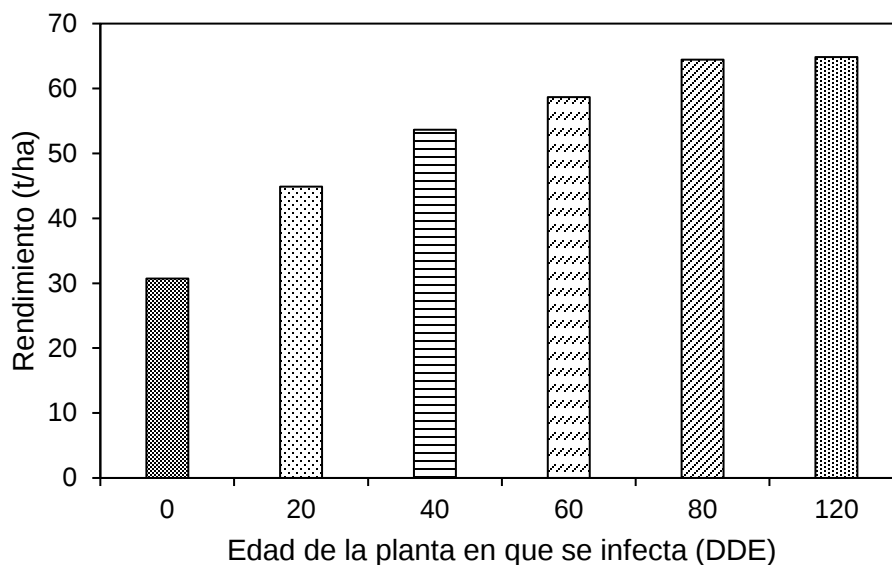


Figura 24. Rendimiento por hectárea de plantas cultivadas a partir de semilla tubérculo infectada por PVY, plantas inoculadas a los 20, 40, 60 y 80 DDE, y plantas sanas, en base a los datos obtenidos en la parcela experimental

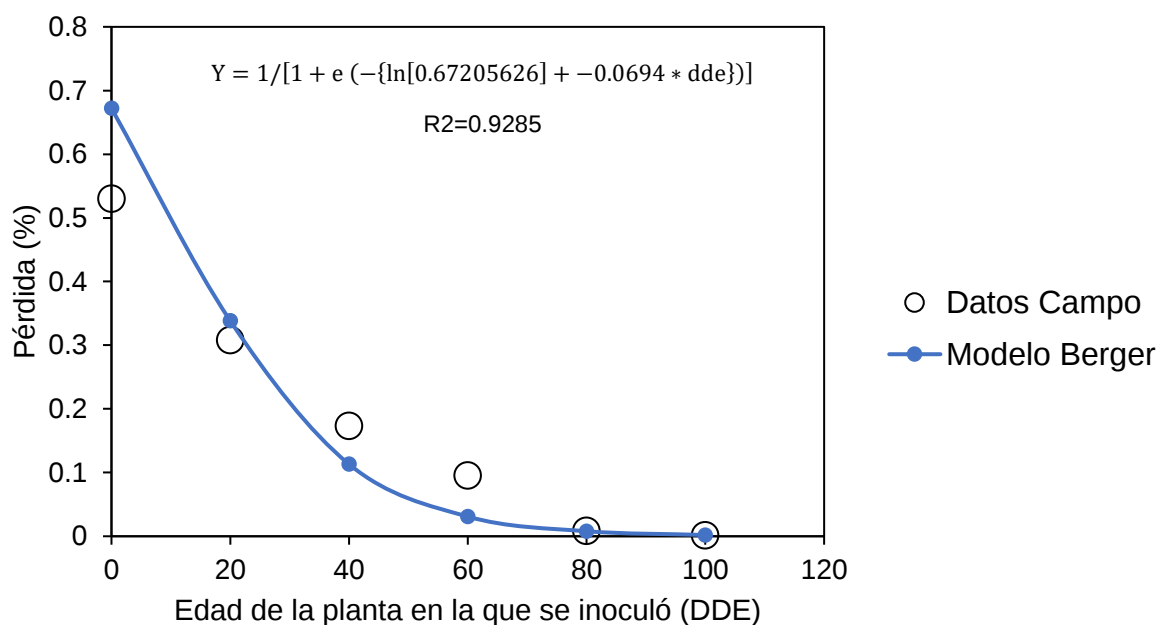


Figura 25. Ajuste del modelo de Berger que explica el 98% del cambio en pérdidas con relación a la fecha de infección por PVY (DDE-días después de la emergencia).

Cantidad y Calidad de Tubérculos

Las plantas desarrolladas a partir de semilla tubérculo infectada con PVY produjeron pocos tubérculos y de menor calidad en comparación con las plantas sanas, el número de tubérculos de 1ª y 2ª fue significativamente mayor en las plantas sanas que en las enfermas (Fig. 26) (Fig. 27).

Las plantas inoculadas a los 20, 40 y 60 DDE, produjeron más tubérculos y de mayor calidad que las plantas provenientes de semilla tubérculo infectada, ya que hubo producción de “primeras” y mayor cantidad de “segundas” y “terceras”, sin embargo, la cantidad y calidad de tubérculos de las plantas inoculadas a los 20, 40 y 60 DDE fue significativamente menor en comparación con los tubérculos producidos por las plantas inoculadas a los 80 DDE y plantas sanas (Fig. 26) (Fig. 27).

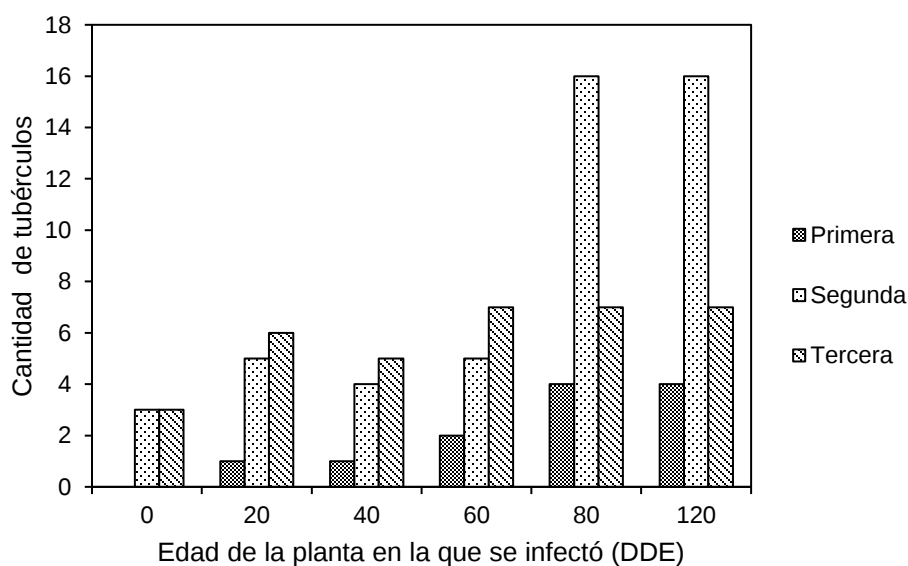


Figura 26. Cantidad y calidad de tubérculos producidos por plantas de papa cultivadas a partir de semilla-tubérculo infectada (0), plantas inoculadas a los 20, 40, 60 y 80 DDE, y plantas que se mantuvieron sanas durante todo el ciclo (120 días)

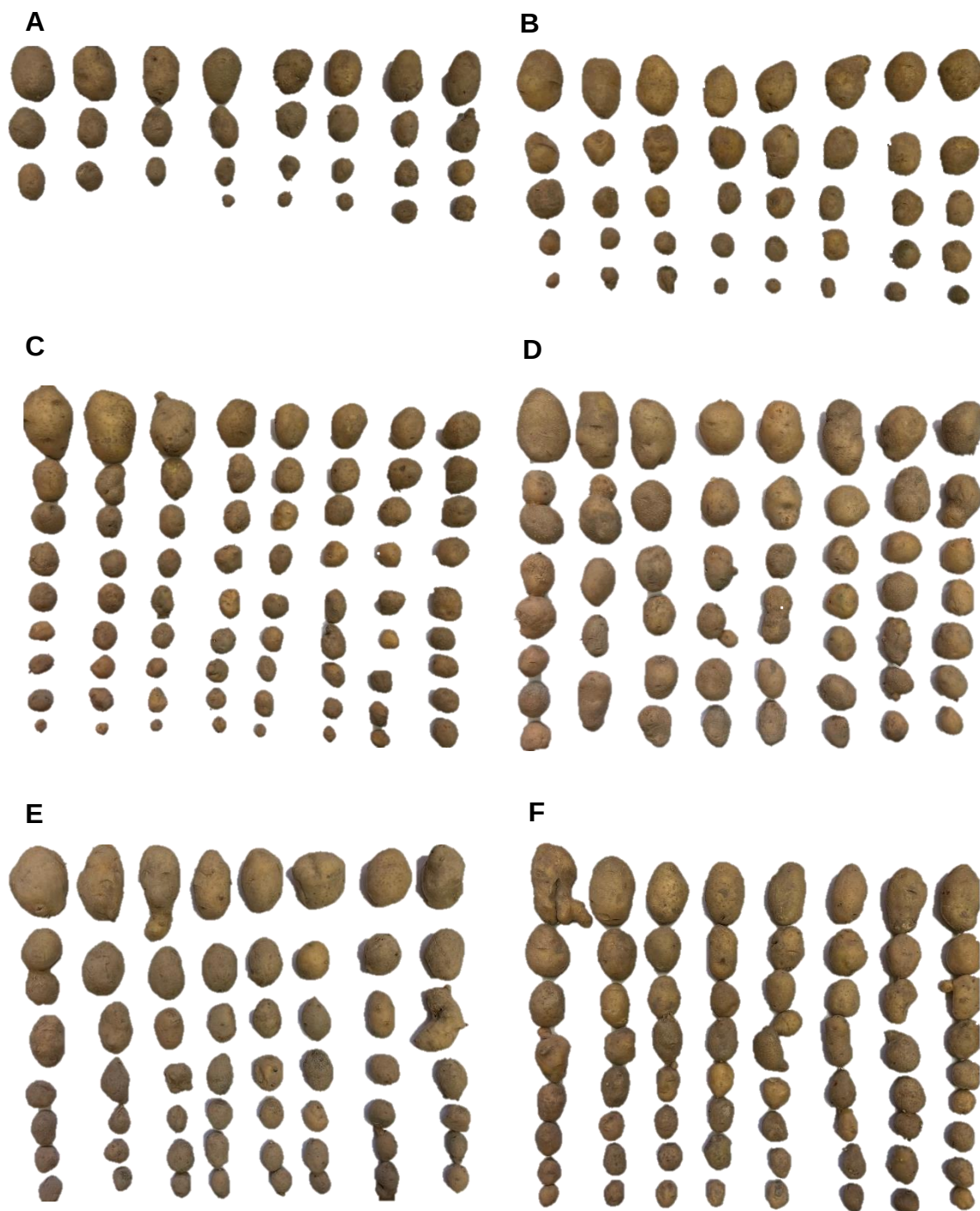


Figura 27. Tubérculos producidos por: A) Plantas provenientes de semilla tubérculo infectada; B) Plantas inoculadas a los 20 DDE; C) Plantas inoculadas a los 40 DDE; D) Plantas inoculadas a los 60 DDE; E) Plantas inoculadas a los 80 DDE; F) Plantas sanas

Estimación de Pérdidas en Coahuila

El porcentaje de incidencia de plantas infectadas en los predios comerciales varió de 0 a 100%. En el predio Emiliano Zapata, la incidencia fue del 100 % en los primeros tres muestreos, y de 92 % en el cuarto muestreo. Una situación similar se presentó en el predio San Felipe, en el cual se detectó un 100 % de incidencia en los cuatro muestreos. Por otro lado, en el predio La Mesa, la incidencia fue del 5% en los cuatro muestreos, mientras que en el predio Huachichil no se detectó la presencia de PVY en ninguno de los cuatro muestreos realizados (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ha= Hectáreas, No. Muestreos= Número de muestreos por predio, DDE= Días después de la emergencia, No. Foliolos= Número de foliolos

Predio	Ha	No. Muestreos	DDE	No. foliolos	Incidencia (%)
Emiliano Zapata	50	4	20	200	100
			40	200	100
			60	200	100
			80	200	92.5
San Felipe	40	4	20	200	100
			40	200	100
			60	200	100
			80	200	100
La mesa	40	4	20	200	5
			40	200	5
			60	200	5
			80	200	5
Huachichil	60	4	20	200	0
			40	200	0
			60	200	0
			80	200	0

Utilizando el modelo de estimación de pérdidas $Y = 1/[1 + e^{-\{ \ln[0.67205626] + -0.0694 * dde \}}]$, desarrollado con los datos de la parcela experimental y el porcentaje de plantas infectadas en las diferentes edades del cultivo, se estimó las pérdidas en rendimiento y económicas en cada uno de los

predios comerciales muestreados (Cuadro 4). Considerando que el número de ha muestreado (200 ha) representa el 77 % del área total sembrado con la variedad Fianna en el Estado de Coahuila, se estimó que la pérdida en rendimiento a nivel estatal fue de 18%.

Cuadro 4. Pérdidas en rendimiento y económicas en cada uno de los predios muestreados

Predio	Pérdidas (t/ha)	Pérdidas (t/predio)	Pérdidas económicas (\$)
E. Zapata	20	1000	10,000,000
San Felipe	20	800	8,000,000
La Mesa	2.13	106.85	1,068,500
Huachichil	0	0	0
Total	42.137	1906.85	19,068,500

DISCUSIÓN

En esta investigación se identificaron cuatro factores importantes de PVY en el cultivo de papa: 1) La importancia de utilizar semilla libre de virus; 2) El período crítico en el cual se debe proteger el cultivo para evitar pérdidas; 3) El efecto de la enfermedad en el rendimiento y calidad de tubérculos cuando las plantas se infectan en diferentes etapas fenológicas; 4) Las pérdidas en rendimiento y económicas estimadas en la región productora de papa de Coahuila. Esta información nos permite diseñar con más elementos de juicio una estrategia para manejar eficientemente la enfermedad y reducir las pérdidas que ocasiona.

Pérdidas por Infecciones Primarias

Las infecciones por PVY transmitidas por semilla-tubérculo causó pérdidas en el rendimiento de 30 y 52.9 %, en comparación con las plantas cultivadas a partir

de semilla tubérculo libres del virus. Las pérdidas de rendimiento resultantes para las plantas cultivadas a partir de semillas infectadas varían drásticamente. Hane y Hamm (1999) encontraron que los rendimientos totales se redujeron en un 29 y 79 % dependiendo de la variedad de papa. Whitworth *et al.* (2006) encontraron reducciones en el rendimiento total que van del 38 al 63% según los niveles de nitrógenos del suelo y la variedad de papa.

Los resultados demuestran que la condición de la semilla tubérculo es un factor muy importante para considerar, debido a que el rendimiento obtenido cuando se siembra semilla-tubérculo infectada fue significativamente menor en comparación de cuando se siembra semilla tubérculo sana, por consiguiente, las pérdidas fueron mayores. Por lo que una de las formas más efectivas de evitar reducciones en el rendimiento es sembrar semilla certificada libre de virus, y que los programas de certificación de semilla establezcan regulaciones más rigurosas para evitar la venta de semilla contaminada con este importante patógeno (virus). Los datos obtenidos respaldan lo mencionado por Gray *et al.* (2010) y Vreugdenhil *et al.* (2007), quienes mencionan que el PVY es uno de los principales responsables de las disminuciones en el rendimiento y calidad de la papa, además, en EE. UU. este virus es responsable de muchos rechazos de lotes de semillas, lo cual ha causado la escases de semilla certificada libre del virus, lo que resulta un reducción significativa en el valor de la cosecha (Gray *et al.* 2010).

Pérdidas por Infecciones Secundarias

Las plantas inoculadas a los 20, 40, 60 y 80 DDE, produjeron mayor rendimiento en comparación con plantas cultivadas a partir de semilla-tubérculo infectada, por ende, mostraron menores pérdidas, lo que destaca que las infecciones secundarias ocasionan daños más severos en comparación con las infecciones primarias, por otro lado, el rendimiento de las plantas inoculadas a los 20, 40 y 60 DDE, fue menor en comparación con el de las plantas inoculadas a los 80 DDE y con el testigo (plantas sanas). Deydi (2006) reportó una reducción en el

rendimiento del 28.5 y 20.7 % cuando inoculó plantas de papa variedad Atlantic a los 20 y 60 DDE, bajo condiciones de invernadero. Por lo que se refiere al rendimiento de las plantas inoculadas a los 80 DDE, fue similar a lo obtenido en el testigo (plantas sanas), esto pudo deberse a que el virus no tuvo el suficiente tiempo para replicarse y ocasionar alteraciones en el sistema fisiológico de la planta.

Cantidad y Calidad de Tubérculos

Las plantas infectadas por semilla tubérculo tenían menos tubérculos y más pequeños que las plantas cultivadas a partir de semillas libres del virus, asimismo, las plantas inoculadas a los 20, 40 y 60 DDE, mostraron una menor producción y calidad de tubérculos, en comparación con las plantas inoculadas a los 80 DDE y las provenientes de semillas sanas, lo cual respalda lo mencionada por Bokx (1980), Salazar (1995), Vreugdenhil *et al.* (2007) y Nolte *et al.* (2009), quienes mencionan el virus afecta los procesos fisiológicos de la planta desde temprana edad, evitando que lleve a cabo sus funciones de fotosíntesis y acumulación de carbohidratos, lo cual tiene como consecuencia que disminuya el crecimiento de las plantas y la producción de tubérculos.

Las pérdidas ocasionadas por PVY en la parcela experimental fueron de 9.4 a 52.9 %, lo cual concuerda con otros autores; Agrios (1996), Beczner *et al.* (1984), De Bokx y Huttinga (1981), Hane y Hamm (1999), Pérez *et al.* (2004), Salazar (1995), Van der Zaag (1987), Whitworth *et al.* (2006) y Zuñiga *et al.* (1999), quienes mencionan que las pérdidas por PVY en el cultivo de papa se encuentran entre un 10 y un 80%, dependiendo del cultivar, las características de la cepa viral, las condiciones de almacenamiento, el ambiente en que se desarrolla el cultivo, y del control de insectos y malezas (Pérez *et al.*, 2004).

Estimación de Pérdidas en Coahuila

Los predios comerciales con el porcentaje de incidencia de plantas infectadas más alto fueron San Felipe y Emiliano Zapata. Por otro lado, el porcentaje de incidencia de plantas infectadas más bajo fue en los predios La Mesa y Huachichil. Por consiguiente, se estimó que las pérdidas por PVY en el cultivo de la papa variedad Fianna en Coahuila en el 2022 fueron del 18%, lo que significa una pérdida económica para el estado \$19,068,500. Cabe resaltar que en los predios San Felipe y Emiliano Zapata se encontró una incidencia del 100% en el muestreo realizado a los 20 DDE, lo cual hace plantear la hipótesis de que la semilla estaba infectada al momento de la siembra, ya que no se observaron medios de rápida diseminación en los predios para considerar que se infectaron después de la siembra, puesto que en las trampas amarillas no se observó presencia de áfidos y las plantas aún no tenían una alta cobertura de follaje para transmitir el virus mecánicamente. Por lo que es recomendable realizar un muestreo previo a la adquisición de la semilla y enviar dicha muestra a un laboratorio autorizado por SENASICA para descartar o comprobar la hipótesis antes mencionada. Esta acción podrá evitar que los productores y, por consiguiente, la región no se vea afectados económicamente por la disminución en el rendimiento del cultivo.

CONCLUSIÓN

Las pérdidas en el rendimiento ocasionadas por PVY en el cultivo de papa variedad Fianna en la parcela experimental fueron de 9.4 a 53 %, mientras que las pérdidas estimadas en la región de Coahuila en el ciclo 2022 fueron del 18%, lo que significa una pérdida económica para el estado de \$19, 068, 500. Lo cual resalta la importancia de utilizar semilla certificada libre de PVY y de proteger el cultivo desde la emergencia hasta los 60 DDE, con énfasis en las primeras semanas.

REFERENCIAS

- AGDIA. 2023. ImmunoStrip® for Potato virus Y (PVY). [Sitio Web](#)
- Agrios, G. N. 1996. Fitopatología. Segunda edición. Ed. Limusa. 838 p. [Link](#)
- Apodaca, M. A. 2016. Enfermedades causadas por virus en tomatillo Agro Excelencia No 7: 10-12 p. [Sito Web](#)
- Aramburu, J., Galipienso, L., & Matas, M. 2006. Characterization of Potato Virus Y Isolates from Tomato Crops in Northeast Spain. European Journal Plant Pathology, 115, 247–258. [Google Académico](#)
- Astier, S., Albouy, J., Maury, Y., & Robaglia, C. 2007. Principles of Plant Virology, Genome, Pathogenicity, Virus Ecology. Science Publishers, Enfield, NH, USA. 472 p. [Google Académico](#)
- Avilla, C., Collar, J. L., Duque, M., Hernaiz, P., Martín, B., y Fereres, A. 1996. Cultivos barrera como método de control de virus no persistentes en pimiento. Bol. San. Veg. Plagas, 22, 301-307. [Google Académico](#)
- Beczner, L., Horváth, J., Romhanyi, I., & Förster, H. 1984. Studies on the etiology of tuber necrotic ringspot disease in potato. Potato Research, 27, 339-352. [Google Académico](#)
- Beemster, A. B. R., y de Bokx, J.A. 1987. Estudio de propiedades y síntomas. En: Virus de la papa y producción de semilla de papa. (eds) Ja de Bokx y JPH van der Want, Pudoc, Wageningen. 84-113 pp. [Google Académico](#)
- Blanco-Urgoiti, B., Sanchez, F., Dopazo, J., & Ponz, F. 1996. A strain-typeclustering of potato virus Y based on the genetic distance between isolates calculated by RFLP analysis. Arch Virol, 141, 2425-2442. [Google Académico](#)
- Bokx, J.A. 1980. Virosis de la papa y de la semilla de papa. Buenos Aires, hemisferio sur.
- Bokx, J.A. 1980. Mosaico rugoso. En: Compendio de enfermedades de la papa. W.J. Hooker editor. Centro Internacional de la papa. 98-100 p.
- Boonham, N., Walsh, K., Preston, S., North, J., Smith, P., & Barker, I. 2002. The detection of tuber necrotic isolates of Potato virus Y, and the accurate discrimination of PVY(O), PVY(N) and PVY(C) strains using RT-PCR. Journal of virological methods, 102(1-2), 103–112. [Google Académico](#)

- Browning, Charlet, Chrzanowska, Dedic, Kerlan, Kryszczuk, Schubert, Varveri, Werkman & Wolf, Abstracts of the 12th EAPR Virology Section Meeting, Rennes: 51, 2004. What in PVY NTN? The reaction of potato cultivars to inoculation with a range of PVY isolates. [Sitio Web](#)
- Burrows, M. E., & Zitter, T. A. 2005. Virus problems of potatoes. Department of Plant Pathology, USDA-ARS, Cornell University, NY, 14853. [Sitio Web](#)
- CABI. 2023. Crop Protection Compendium. CAB International. UK. <https://www.cabi.org/>
- Campbell, C.L., & Madden, L.V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Sons, Nueva York, 532 pp. [Google Académico](#)
- Cabral, S., Soares, A. O., & Garcia, P. 2009. Predation by *Coccinella undecimpunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) on *Myzus persicae* Sulzer (Homoptera: Aphididae): effect of prey density. *Biological Control*, 50(1), 25-29. [Google Académico](#)
- Chikh Ali, M., Maoka, T., Natsuaki, T., & Natsuaki, K. T. 2010. PVYNTN-NW, a novel recombinant strain of Potato virus Y predominating in potato fields in Syria. *Plant Pathology*, 59(1), 31-41. [Google Académico](#)
- Chung, B. Y. W., Miller, W. A., Atkins, J. F., & Firth, A. E. 2008. An overlapping essential gene in the Potyviridae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (15), 5897-5902. [Google Académico](#)
- Carrington, J. C., & Freed, D. D. 1990. Cap-independent enhancement of translation by a plant potyvirus 5' nontranslated region. *Journal of virology*, 64 (4), 1590-1597. [Google Académico](#)
- Clark & Hill. 1978. *Phytopathology News* 12: resumen 203.
- Cockerham, G. 1943. The reactions of potato varieties to viruses X, A, B and C. *Annals of Applied Biology*, 30 (4), 338-344. [Google Académico](#)
- Coutts, B. A., & Jones, R. A. C. 2015. Potato virus Y: Contact transmission, stability, inactivation and infection sources. *Plant Disease*, 99 (3), 387-394. [Google Académico](#)
- Cruz, M., Lozoya, H., y Frías, G. A. 2001. Potyvirus Y de la Papa Variante Necrótica (PVYN) en Tubérculo Semilla de Papa (*Solanum tuberosum* L.) canadiense. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 20 (2), 206-209. [Google Académico](#)

- D'Aquino, L., Dalmay, T., Burguán, J., Ragozzino, A. & Scala, F. 1995. Host range and sequence analysis of an isolate of Potato virus Y inducing veinal necrosis in pepper. *Plant Disease*. 79, 1046– 1050. [Google Académico](#)
- Davy, J. 2009. Characterization of Potato Virus Y (PVY) Isolates Infecting Solanaceous Vegetables in Kwazulu-Natal (KZN), Republic of South África (RSA). Master's Thesis. University of KwaZulu-Natal. 151 pp. [Google Académico](#)
- De Bokx, J. A., Beemster, A., Hille Ris Lambers, R., Hiddema, J., van Hoof, H. A., Maat, D. Z., Reestman, A. J., Rozendaal, A., Schepers, A., van Slogteren, D. H. M., van der Want, J. P. H., Wiersema, H. T., Quak, F., & van der Zaag, D. E. 1972. Viruses of potatoes and seed-potato production. [Google Académico](#)
- De Bokx, J. A., & Huttinga, H. 1981. Potato virus Y. CMI/AAB Descriptions of plant viruses, 242 (6). [Google Académico](#)
- De Bokx J.A., & Vander, J. P. H. 1987. Viruses of potatoes and seet-potato production. Pudoc Wageningen. 259 p.
- DiFonzo, C. D., Ragsdale, D. W., Radcliffe, E. B., Gudmestad, N. C., & Secor, G. A. 1996. Crop borders reduce potato virus Y incidence in seed potato. *Annals of Applied Biology*, 129(2), 289-302.
- Draper, M. D., Pasche, J. S., & Gudmestad, N. C. 2002. Factors influencing PVY development and disease expression in three potato cultivars. *American Journal of Potato Research*, 79, 155-165. [Google Académico](#)
- Bokx, J.A. 1980. Virosis de la papa y de la semilla de la papa. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 303 p.
- Delaunay, A. 2007. An International Organization to Improve Knowledge on Potato Virus Y. [Sitio Web](#)
- De Wijs, J.J., & Suda-Bachmann, F.1979. The long-term preservation of potato virus Y and watermelon mosaic virus in liquid nitrogen in comparison to other preservation methods. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 85, 23–29. [Google Académico](#)
- Díaz, A., Quiñones, M., Arana, F., Soto, M., & Hernández, A. 2010. Potyvirus: Características generales, situación de su diagnóstico y determinación de su presencia en el cultivo del pimiento en Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 25(2), 69-79. [Google Académico](#)

- Du, Z., Chen, J., & Hiruki, C. 2006. Optimization & application of a multiplex RT-PCR system for simultaneous detection of five potato viruses using 18S rRNA as an internal control. *Plant Disease*, 90 (2), 185-189. [Google Académico](#)
- Draper, M. D., Pasche, J. S., & Gudmestad, N. C. 2002. Factors influencing PVY development and disease expression in three potato cultivars. *American Journal of Potato Research*, 79, 155-165. [Google Académico](#)
- Edwardson, J.R., & Cristie, R.G. 1997. *Viruses Infecting Peppers and other Solanaceous Crops*. Volume 1.336 pp. Florida Agricultural Experiment Station, University of Florida, Florida Agricultural, USA. [Google Académico](#)
- Ellis, P., Stace-Smith, R., Bowler, G., & Mackenzie, D. J. 1996. Production of monoclonal antibodies for detection and identification of strains of potato virus Y. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 18(1), 64-70. [Google Académico](#)
- Engvall, E., & Perlmann, P. 1971. Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) quantitative assay of immunoglobulin G. *Immunochemistry*, 8(9), 871-874.
- FAO. 2020. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Codex Alimentarius; Normas Internacionales de los Alimentos. Norma Para la Patata (Papa) de Consumo CXS 339-2020. 6 pp. [Link](#)
- FAOSTAT. 2021. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Producción mundial de papa. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Fecha de consulta: 4 de febrero de 2023.
- Fereres, A. 2000. Barrier crops as a cultural control measure of non-persistently transmitted aphid-borne viruses. *Virus research*, 71(1-2), 221-231. [Google Académico](#)
- Fanigliulo, A., Comes, S., Pacella, R., Harrach, B., Martin, D. P., & Crescenzi, A. 2005. Characterisation of Potato virus Y nnp strain inducing veinal necrosis in pepper: a naturally occurring recombinant strain of PVY. *Archives of virology*, 150, 709-720. [Google Académico](#)
- Galvino-Costa, S. B. F., dos Reis Figueira, A., Camargos, V. V., Geraldino, P. S., Hu, X. J., Nikolaeva, O. V., & Karasev, A. V. 2012. A novel type of Potato virus Y recombinant genome, determined for the genetic strain PVYE. *Plant Pathology*, 61(2), 388-398. [Google Académico](#)

- García-Arenal, F., & McDonald, B. A. 2003. An analysis of the durability of resistance to plant viruses. *Phytopathology*, 93(8), 941-952. [Google Académico](#)
- Gebre Selassie, K., Marchoux, G., Delecolle, B., & Pochard, E. 1985. Variability of natural strains of potato virus Y infecting peppers in South-Eastern France. Characterization and classification into 3 pathotypes. [Google Académico](#)
- German, T. L. 2001. Potato virus Y. *Compendium of potato disease*, 2, 69-71.
- González-Franco, A. C., Rodríguez-Rodríguez, M., & Robles-Hernández, L. (2014). Principales virus que afectan al cultivo de papa y metodologías para su identificación y caracterización. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 8(3), 142-151. [Sitio Web](#)
- Gray, S., De Boer, S., Lorenzen, J., Karasev, A. V., Whitworth, J., Nolte, P., Singh, R., Boucher, A., & Xu, H. M. 2010. Potato virus Y: An evolving concern for potato crops in the United States and Canada. *Plant Dis.* 94 (12):1384-1397. [Google Académico](#)
- Green, K. J., Brown, C. J., Gray, S. M., and Karasev, A. V. 2017. Phylogenetic study of recombinant strains of potato virus Y. *Virology* 507:40-52. [Google Académico](#)
- Gugerli, P., & Fries, P. 1983. Characterization of monoclonal antibodies to potato virus Y and their use for virus detection. *Journal of General Virology*, 64(11), 2471-2477. [Google Académico](#)
- Halbert, S. E., Corsini, D. L., & Wiebe, M. A. 2003. Potato virus Y transmission efficiency for some common aphids in Idaho. *American journal of potato research*, 80, 87-91. [Google Académico](#)
- Hane, D., & Hamm, P. 1999. Effects of seedborne potato virus Y infection in two potato cultivars expressing mild disease symptoms. *Plant Dis.* 83:43-45. [Google Académico](#)
- Harrington, R., & Gibson, R. W. 1989. Transmission of potato virus Y by aphids trapped in potato crops in southern England. *Potato Research*, 32, 167-174. [Google Académico](#)
- Hataya, T., Inoue, A. K., Ohshima, K., & Shikata, E. 1994. Characterization and strain identification of a potato virus Y isolate non-reactive with monoclonal antibodies specific to the ordinary and necrotic strains. *Intervirology*, 37(1), 12-19. [Google Académico](#)

- Hernández, D. 2006. Actividad Virustatica de Viprot I y Viprot II, sobre Potato Virus Y (PVY) de la Papa en Invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 52 pp. [Repositorio Digital](#)
- Hernández-de la Cruz, M., Gómez-Leyva, J. F., López-Muraira, I. G., Dimas-Estrada, M. S., Andrade-González, I., & Ireta-Moreno, J. 2007. Detección serológica y molecular del virus PVY N y su variante PVY NTN en papa (*Solanum tuberosum* L.) y hospedantes alternos en Tapalpa, México. Revista mexicana de fitopatología, 25(2), 167-172. [Google Académico](#)
- Herrera, G. 2007. Introducción, establecimiento y dispersión de los virus PLRV y PVY necrótico en el cultivo de papa en el estado de Sinaloa. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR, Unidad Sinaloa. 104 pp. [Google Académico](#)
- Hinostroza, A. M, 1975 Some characteristics of infectious RNA from potato virus Y. Virology 67 (1): 276-278. [Google Académico](#)
- Hooks, C. R., & Fereres, A. 2006. Protecting crops from non-persistently aphid-transmitted viruses: a review on the use of barrier plants as a management tool. Virus research, 120(1-2), 1-16. [Google Académico](#)
- Horváth, J., 1967. Separation and determination of viruses pathogenic to potatoes with special regard to potato virus Y. Acta phytopathologica Academiae scientiarum hungaricae 2: 319–360. [Sitio Web](#)
- Horvath, J. 1967b. Acta Phytopathologica Academiae Scientiarum Hungaricae 2: 195.
- Horvath, J. 1966a. Acta Phytopathologica Academiae Scientiarum Hungaricae 1: 125.
- Horvath, J. 1966b, Acta Phytopathologica Academiae Scientiarum Hungaricae 1: 333.
- Horvath, J. 1967a. Acta Phytopathologica Academiae Scientiarum Hungaricae 2: 95.
- Horvath J. 1966a, Studies on strains of potato virus Y. L. Strain C. Acta Phytopathologica Academiae Scientiarum Hungaricae. 1: 125.
- Horvath J. 1966b. Studies on strains of potato virus Y. 2. Normal Strain. Acta Phytopathologica Academiae.
- Horvath J. 1967a Studies on strains of potato virus Y. Acta Phytopathologica Academiae Scientiarum Hungaricae 2: 95.

- Hu, X., Meacham, T., Ewing, L., Gray, S. M., & Karasev, A. V. 2009. A novel recombinant strain of Potato virus and suggests a new viral genetic determinant of vein necrosis in tobacco. *Virus Research*, 143 (1), 68-76. [Google Académico](#)
- ICTV. 2022. International Committee on Taxonomy of Viruses. Master Species List. [Sitio Web](#)
- Ivanov, K. I., Eskelin, K., Lohmus, A., & Mäkinen, K. 2014. Molecular and cellular mechanisms underlying potyvirus infection. *Journal of General Virology*, 95 (7), 1415-1429. [Google Académico](#)
- Jacquot, E., Tribodet, M., Croizat, F., Balme-Sinibaldi, V., & Kerlan, C. 2005. A single nucleotide polymorphism-based technique for specific characterization of Y⁰ and Yⁿ isolates of Potato virus Y (PVY). *Journal of Virological Methods*, 125 (1), 83-93. [Google Académico](#)
- Jeffries, C. J. 1998. FAO/IPGRI Technical guidelines for the safe movement of germplasm. Potato. FAO/IPGRI Technical guidelines for the safe movement of germplasm, No. 19. [Google Académico](#)
- Jones, R. A. C. 1990. Strain group specific and virus specific hypersensitive reactions to infection with potyviruses in potato cultivars. *Annals of Applied Biology*, 117(1), 93-105. [Google Académico](#)
- Karasev, A. V., & Gray, S. M. 2013. Continuous and emerging challenges of Potato virus Y in potato. *Annual review of phytopathology*, 51, 571-586. [Google Académico](#)
- Karasev, A. V., Nikolaeva, O. V., Hu, X., Sielaff, Z., Whitworth, J., Lorenzen, J. H., & Gray, S. M. 2010. Serological properties of ordinary and necrotic isolates of Potato virus Y: a case study of PVY N misidentification. *American Journal of Potato Research*, 87, 1-9. [Google Académico](#)
- Kehoe, M. A., & Jones, R. A. 2011. A proposal to help resolve the disagreement between naming of potato virus Y strain groups defined by resistance phenotypes and those defined by sequencing. *Archives of virology*, 156, 2273-2278. [Google Académico](#)
- Kerlan, C. 2006. Potato virus Y. AAB/CMI Descriptions of Plant Viruses 414. [Google Académico](#)
- Kerlan, C., & Moury, B. 2008. Potato Virus Y. In *Encyclopedia of Virology*; Association of Applied Biologists: Weisborne, UK, 2008; pp. 287–296. [Google Académico](#)

- Kerlan C, Moury B. 2008. Potato virus Y. In Encyclopedia of Virology, Vol. 4, ed. BWJ Mahy, MHV Van Regenmortel, pp. 287–96. Oxford, UK: Elsevier. 3rd ed. [Sitio Web](#)
- Kerlan, C., Tribodet, M., Glais, L., & Guillet, M. 1999. Variability of potato virus Y in potato crops in France. *Journal of Phytopathology*, 147(11-12), 643-651. [Google Académico](#)
- Kerlan, C., Nikolaeva, O. V., Hu, X., Meacham, T., Gray, S. M., & Karasev, A. V. (2011). Identification of the molecular make-up of the Potato virus Y strain PVYZ: Genetic typing of PVYZ-NTN. *Phytopathology*, 101(9), 1052-1060. [Google Académico](#)
- Klinkowski, M. y K. Schmelzer, 1957. Beiträge zur Kenntnis des Virus der Tabak-Rippenbräune. *Phytopathologische Zeitschrift* 28: 285–306.
- Kogovšek, P., Gow, L., Pompe-Novak, M., Gruden, K., Foster, G. D., Boonham, N., & Ravnikar, M. 2008. Single-step RT real-time PCR for sensitive detection and discrimination of Potato virus Y isolates. *Journal of Virological methods*, 149(1), 1-11. [Google Académico](#)
- Kostiw, M. 2011. The occurrence of major potato viruses in Poland. *Journal of Plant Protection Research*. [Google Académico](#)
- Lacroix, C., Glais, L., Kerlan, C., Verrier, J. L., & Jacquot, E. 2010. Biological characterization of French Potato virus Y (PVY) isolates collected from PVY-susceptible or-resistant tobacco plants possessing the recessive resistance gene *va*. *Plant pathology*, 59(6), 1133-1143. [Google Académico](#)
- Lacomme, C., Glais, L., Bellstedt, D. U., Dupuis, B., Karasev, A. V., & Jacquot, E. (Eds.). 2017. *Potato virus Y: biodiversity, pathogenicity, epidemiology and management* (pp. 141-176). Basel, Switzerland: Springer International Publishing. [Google Académico](#)
- Leiser, R. M., & Richter, J. 1978. Purification and some characteristics of potato virus Y. *Archiv für Phytopathologie und Pflanzenschutz*, 14(6), 337-350. [Google Académico](#)
- Lorenzen, J. H., Piche, L. M., Gudmestad, N. C., Meacham, T., & Shiel, P. 2006. A multiplex PCR assay to characterize Potato virus Y isolates and identify strain mixtures. *Plant Disease*, 90(7), 935-940. [Google Académico](#)
- Lorenzen, J. H., Meacham, T., Berger, P. H., Shiel, P. J., Crosslin, J. M., Hamm, P. B., & Kopp, H. 2006. Whole genome characterization of Potato virus Y isolates collected in the western USA and their comparison to isolates from Europe and Canada. *Archives of virology*, 151, 1055-1074. [Google Académico](#)

- MacKenzie, T. D., Arju, I., Gallagher, A., Nie, X., & Singh, M. 2018. Evidence of potato virus Y spread through post-emergence management practices in commercial potato fields. *American Journal of Potato Research*, 95, 720-728. [Google Académico](#)
- MacKenzie, T. D., Fageria, M. S., Nie, X., & Singh, M. 2014. Effects of crop management practices on current-season spread of Potato virus Y. *Plant Disease*, 98(2), 213-222. [Google Académico](#)
- MacKenzie, T. D., Lavoie, J., Nie, X., & Singh, M. 2018. Differential spread of Potato virus Y (PVY) strains O, N: O and NTN in the field: Implications for the rise of recombinant PVY strains in New Brunswick, Canada. *American Journal of Potato Research*, 95, 301-310. [Google Académico](#)
- Makkouk, K. M., & Gumpf, D. J. 1975. Characterization of the protein and nucleic acid of potato virus Y strains isolated from pepper. *Virology*, 63(2), 336-344. [Google Académico](#)
- Marte, M., Bellezza, G., & Polverari, A. 1991. Infective behaviour and aphid-transmissibility of Italian isolates of potato virus Y in tobacco and peppers. *Annals of applied biology*, 118(2), 309-317. [Google Académico](#)
- Martínez, B., Llave, C., Atencio, F. A., Díaz, J. R., & López, D. 2001. La transmisión de los potyvirus por pulgones (Revisión). *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg*, 16(2). [Google Académico](#)
- Mascia, T., Finetti-Sialer, M. M., Cillo, F., & Gallitelli, D. 2010. Biological and molecular characterization of a recombinant isolate of Potato virus Y associated with a tomato necrotic disease occurring in Italy. *Journal of Plant Pathology*, 131-138. [Google Académico](#)
- Milne, R. G. 2013. *The Plant Viruses: The Filamentous Plant Viruses*. Springer Science & Business Media. [Google Académico](#)
- Moury, B., Fabre, F., & Senoussi, R. 2007. Estimation of the number of virus particles transmitted by an insect vector. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(45), 17891-17896. [Google Académico](#)
- Nie, X., & Singh, R. P. 2002. A new approach for the simultaneous differentiation of biological and geographical strains of Potato virus Y by uniplex and multiplex RT-PCR. *Journal of Virological Methods*, 104(1), 41-54. [Google Académico](#)
- Nobrega, N.R. and Silberschmidt, K. 1944. Sobre una provavel variante do virus 'Y' da batatinha que tem a peculiaridade de provocar necroses em plantas de fumo. *Arquiv. Inst. Biol. São Paulo* 15, 307– 330.

- Nolte, P., Alvarez, J. M., & Whitworth, J. L. 2009. Potato virus Y management for the seed potato producer. University of Idaho Extension CIS1165. [Google Académico](#)
- NOM 040 FITO 2002. Requisitos y especificaciones para la producción y movilización nacional de papa comercial. Diario Oficial de la Federación, 21 de febrero del 2003. [Sitio Web](#)
- NOM 041 FITO 2002. Requisitos y especificaciones fitosanitarios para la producción de material propagativo asexual de papa. Diario Oficial de la Federación, 4 de marzo del 2003. [Sitio Web](#)
- Ogawa, T., Tomitaka, Y., Nakagawa, A., & Ohshima, K. 2008. Genetic structure of a population of Potato virus Y inducing potato tuber necrotic ringspot disease in Japan; comparison with North American and European populations. *Virus Research*, 131(2), 199-212. [Google Académico](#)
- Pérez, L., Rico, E., Sánchez, J.R., Ascencio, J.T., Díaz, R., & Rivera, R.F. 2004. Identificación de Virus Fitopatógenos en Cultivos Hortícolas de Importancia Económica en el Estado de Guanajuato, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 22 (2), 187-197. [Google Académico](#)
- Purcifull, D. E., Christie, S. R., & Batchelor, D. L. 1975. Preservation of plant virus antigens by freeze-drying. *Phytopathology*, 65(11), 1202-1205. [Google Académico](#)
- Quenouille, J., Vassilakos, N., & Moury, B. 2013. Potato virus Y: a major crop pathogen that has provided major insights into the evolution of viral pathogenicity. *Molecular plant pathology*, 14(5), 439-452. [Google Académico](#)
- Ramírez, V.R., Frías, G., y Martínez, J. P. 2006. Caracterización de variantes necróticas del virus PVY detectadas en plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico-Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 8(1), 150-162. [Google Académico](#)
- Ramírez-Rodríguez, V. R., Aviña-Padilla, K., Frías-Treviño, G., Silva-Rosales, L., & Martínez-Soriano, J. P. 2009. Presence of necrotic strains of Potato virus Y in Mexican potatoes. *Virology Journal*, 6, 1-7. [Google Académico](#)
- Rashki, M., Kharazi-Pakdel, A., Allahyari, H., & Van Alphen, J. J. M. (2009). Interactions among the entomopathogenic fungus, *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales), the parasitoid, *Aphidius matricariae* (Hymenoptera: Braconidae), and its host, *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). *Biological Control*, 50(3), 324-328. [Google Académico](#)

- Rigotti, S., & Gugerli, P. 2007. Rapid identification of potato virus Y strains by one-step triplex RT-PCR. *Journal of Virological Methods*, 140(1-2), 90-94. [Google Académico](#)
- Rolland, M., Glais, L., Kerlan, C., & Jacquot, E. 2008. A multiple single nucleotide polymorphisms interrogation assay for reliable Potato virus Y group and variant characterization. *Journal of virological methods*, 147(1), 108-117. [Google Académico](#)
- Romancer, M. L., Kerlan, C., & Nedellec, M. 1994. Biological characterisation of various geographical isolates of potato virus Y inducing superficial necrosis on potato tubers. *Plant Pathology*, 43(1), 138-144. [Google Académico](#)
- Rose, D. G., & Hubbard, A. L. 1986. Production of monoclonal antibodies for the detection of potato virus Y. *Annals of applied biology*, 109(2), 317-321. [Google Académico](#)
- Salaman, R. N., & Le Pelley, R. H. 1930. Para-crinkle: a potato disease of the virus group. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 106(742), 140-175. [Google Académico](#)
- Salazar, L. F. 1995. Los virus de la papa y su control. *Centro Internacional de la Papa*. p. 256. [Sitio Web](#)
- Sanz, A., Cambra, M., De San Roman, C. P., Miguët, J. G., Cortes, E., Gorris, M. T., & Vela, C. 1990. Preparation of additional monoclonal antibodies for detection and discrimination of potato virus Y isolates infecting potato. *Potato research*, 33, 365-375. [Google Académico](#)
- Scholthof, K. B., Adkins, S., Czosnek, H., Palukaitis, P., Jacquot, E., Hohn, T., Hohn, B., Saunders, K., Candresse, T., Ahlquist, P., Hemenway, C., & Foster, G. D. 2011. Top 10 plant viruses in molecular plant pathology. *Molecular plant pathology*, 12(9), 938–954. [Google Académico](#)
- Shukla, D. D., Ward, C. W., Brunt, A.A. 1994. *The Potyviridae*, CAB International. Oxon, Inglaterra 1-2; 322-328. [Sitio Web](#)
- Shukla, D. D., Inglis, A. S., McKern, N. M., & Gough, K. H. 1986. Coat protein of potyviruses. 2. Amino acid sequence of the coat protein of potato virus Y. *Virology*, 152(1), 118–125. [Sitio Web](#)
- Shukla, D. D., Ward, C. W., Brunt, A.A. 1998. *Description of plant viruses* 366.
- SIAP. 2021. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de siembras y cosechas, resumen nacional por cultivo. Disponible en: [Sitio Web](#). Fecha de consulta: 4 de febrero de 2023.

- Sigvald, R. 1984. The relative efficiency of some aphid species as vectors of potato virus Y o (PVY o). *Potato Research*, 27, 285-290. [Google Académico](#)
- Simons, J. N. 1957. Effects of insecticides and physical barriers on field spread of pepper veinbanding mosaic virus. *Phytopathology* 1957, 47, 139–145.
- Singh, R. P., Valkonen, J. P., Gray, S. M., Boonham, N., Jones, R. A. C., Kerlan, C., & Schubert, J. 2008. Discussion paper: The naming of Potato virus Y strains infecting potato. *Archives of virology*, 153, 1-13. [Google Académico](#)
- Singh, M., & Singh, P. 1996. Nucleotide sequence and genome organization of a Canadian isolate of the common strain of potato virus Y (PVY). *Canadian Journal of Plant Pathology*, 18(3), 209-224. [Google Académico](#)
- Singh, R. P. 1998. Reverse-transcription polymerase chain reaction for the detection of viruses from plants and aphids. *Journal of Virological methods*, 74(2), 125-138. [Google Académico](#)
- Singh, M., Singh, R. P., & Somerville, T. H. 1994. Evaluation of tuber-bearing *Solanum* species for symptomology, as diagnostic hosts, and sources of immunity to potato virus Y necrotic strain (PVY N). *American potato journal*, 71, 567-579. [Google Académico](#)
- Singh, R. P., Valkonen, J. P., Gray, S. M., Boonham, N., Jones, R. A. C., Kerlan, C., & Schubert, J. 2008. Discussion paper: The naming of Potato virus Y strains infecting potato. *Archives of virology*, 153, 1-13. [Google Académico](#)
- Smith, I. M, Dunez, J., Lelliot, R. A., Phillips, D. H., & Archer, S. A. 1988. *European Handbook of Plant Diseases* 1st Edition. Editorial Blackwell Scientific Publications LTD. 76-78p. [Sitio Web](#)
- Smith, K. 1931. On the composite nature of certain potato viruses of the mosaic group as revealed by the use of plant indicators. *Proceedings of the Royal Society, B* 109: 251-267. [Sitio Web](#)
- Solomon-Blackburn, R. M., & Barker, H. 2001. A review of host major-gene resistance to potato viruses X, Y, A and V in potato: genes, genetics and mapped locations. *Heredity*, 86(1), 8-16. [Google Académico](#)
- Stace-Smith, R., & Tremaine, J. H. 1970. Purification and composition of potato virus Y. *Phytopathology*, 60(12), 1785-1789. [Google Académico](#)
- Susaimuthu, J., Tzanetakis, I. E., Gergerich, R. C., & Martin, R. R. 2008. A member of a new genus in the Potyviridae infects *Rubus*. *Virus research*, 131(2), 145-151. [Google Académico](#)

- Tribodet, M., Glais, L., Kerlan, C., & Jacquot, E. 2005. Characterization of Potato virus Y (PVY) molecular determinants involved in the vein necrosis symptom induced by PVYN isolates in infected *Nicotiana tabacum* cv. Xanthi. *Journal of General Virology*, 86(7), 2101-2105. [Google Académico](#)
- Urcuqui-Inchima, S., Haenni, A. L., & Bernardi, F. 2001. Potyvirus proteins: a wealth of functions. *Virus research*, 74(1/2), 157-175. [Google Académico](#)
- Van den Heuvel, J. F. J. M., Van der Vlugt, R. A. A., Verbeek, M., De Haan, P. T., & Huttinga, H. 1994. Characteristics of a resistance-breaking isolate of potato virus Y causing potato tuber necrotic ringspot disease. *European Journal of Plant Pathology*, 100, 347-356. [Google Académico](#)
- Van der Zaag, D., 1987. Yield reduction in relation to virus infection. In: JA Bokx, JPH Want, eds. *Viruses of Potatoes and Seed-Potato Production*. Wageningen, Netherlands: Pudoc, 149– 50.
- Van Harten, A. 1983. The relation between aphid flights and the spread of potato virus YN (PVY N) in the Netherlands. *Potato Research*, 26, 1-15. [Google Académico](#)
- Van Hoof, H. A. 1977. Determination of the infection pressure of potato virus YN. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 83: 123–127. [Google Académico](#)
- Van Hoof, H.A. 1979. Infection pressure of potato virus YN. *Netherlands Journal of Plant Pathology* 85, 31–37. [Sitio Web](#)
- Van Regenmortel, M. H. 1982. Serology and immunochemistry of plant viruses. [Google Académico](#)
- Van Toor, R. F., Drayton, G. M., Lister, R. A., & Teulon, D. A. J. 2009. Targeted insecticide regimes perform as well as a calendar regime for control of aphids that vector viruses in seed potatoes in New Zealand. *Crop Protection*, 28(7), 599-607. [Google Académico](#)
- Valkonen, J. P. 2007. Viruses: economical losses and biotechnological potential. In *Potato biology and biotechnology* (pp. 619-641). Elsevier Science BV. [Google Académico](#)
- Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., Taylor, M. A., MacKerron, D. K. L., Ross, H. A. 2007. *Potato biology and biotechnology advances and perspectives*. Elsevier. Italy. 801 p. [Google Académico](#)
- Weidemann, H. L., & Maiss, E. 1996. Detection of the potato tuber necrotic ringspot strain of potato virus Y (PVY NTN) by reverse transcription and immunocapture polymerase chain reaction/Nachweis des Kartoffelknollen-Ringnekrose-Stammes des Kartoffelvirus Y (PVY NTN) mit Hilfe reverser

Transkription und Immunocapture-Polymerase-Kettenreaktion. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz/Journal of Plant Diseases and Protection, 337-345. [Google Académico](#)

Whitworth, J. L., Nolte, P., McIntosh, C., & Davidson, R. 2006. Effect of Potato virus Y on yield of three potato cultivars grown under different nitrogen levels. Plant Disease, 90 (1), 73-76. [Google Académico](#)

Wylie, S. J., Adams, M., Chalam, C., Kreuze, J., López-Moya, J. J., Ohshima, K., Praveen, S., Rabenstein, F., Stenger, D., Wang, A., & Zerbini, F. M. 2017. ICTV virus taxonomy profile: Potyviridae. The Journal of general virology, 98(3), 352. [Google Académico](#)

Zúñiga-López, L. N., Cadena-Hinojosa, M. A., Molina-Galán, J. D., & Rivera-Peña, A. 1999. Resistencia genética a los virus X y Y (PVX y PVY) de la papa. Agrociencia, 33(4), 389-396. [Google Académico](#)