

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Efecto del Dióxido de Cloro sobre PVY (*Potyvirus yituberosi*) en Plantas de
Papa (*Solanum tuberosum* L.) Cultivadas en Invernadero

Por:

JOSÉ MANUEL LÓPEZ VÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México.

Octubre 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Efecto del Dióxido de Cloro sobre PVY (*Potyvirus yituberosi*) en Plantas de
Papa (*Solanum tuberosum* L.) Cultivadas en Invernadero

Por:

JOSÉ MANUEL LÓPEZ VÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobado por el Comité Asesoría:



Dr. Gustavo Frias Treviño
Asesor Principal



M.C. Ubaltrido Vásquez Gutiérrez
Asesor Principal Externo



Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe
Coasesor



Dra. Yolanda Rodríguez Pagaza
Coasesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.

Octubre 2025

Declaración de no plagio

El autor principal quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Autor principal



José Manuel López Vázquez

Firma y Nombre

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

Gracias por acompañarme en cada paso, por creer en mí incluso en los momentos de duda, y por impulsarme a crecer a través de los retos, brindándome siempre fortaleza y apoyo.

A MI ALMA TERRA MATER

Agradezco haber formado parte de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, a la que considero mi segundo hogar. En ella me convertí en Ingeniero Agrónomo Parasitólogo y tuve el honor de ser un Buitre de la Narro. Las experiencias vividas y las amistades que se convirtieron en familia permanecerán siempre en mi corazón.

A MIS ASESORES

Dr. Gustavo Frías Treviño

M.C. Ubilfrido Vásquez Gutiérrez

Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe

Dra. Yolanda Rodríguez Pagaza

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Sr. Gerardo López Fabián, Sra. María Estela Guadalupe Vázquez Cortes. Quienes, con su cariño incondicional, confianza y apoyo constante, me han impulsado en cada paso de mi formación. Gracias por acompañarme en los malos y buenos momentos, por brindarme siempre su comprensión y aliento además agradezco por hacerme lo que hoy soy.

A Mis Familia

A mi hermano Alexander López Vázquez, Tener un hermano menor es una gran responsabilidad; su cariño y confianza en mí me han motivado a ser mejor cada día.

A mis abuelos, Jaime López, Engracia Fabián †, Constantina Cortes y Manuel Vázquez †, por su ejemplo de vida, cariño y enseñanzas que han marcado profundamente mi formación y valores.

A mis tíos, Abraham López, Francisca Crispín, Jaime López, Ana Roldán, Patricio López, Nieves Vázquez, Agustín Vázquez, Patricia, Manuel Vázquez, Socorro, Juan Vázquez y María Trinidad, por su apoyo, consejos y afecto incondicional a lo largo de mi vida.

A mis primos, Ing. Abraham López, Luis López, Jaime López, Ing. Patricia López, Michel López y Lic. Carolina Arellano, por su compañía, amistad y el respaldo constante que siempre me han brindado.

A la familia Valdés, Abuelita Toña, Gerardo Valdés, Patricia de la Rosa, Adrián Valdés, Frida Valdés y Mía Valdés por su apoyo y por estar presentes en momentos importantes de mi vida. Su afecto y respaldo han sido un aliento constante que siempre recordaré con gratitud.

Al Ing. Alfredo Fabián, mi mejor amigo, por su lealtad, apoyo y por hacer más llevaderos los momentos difíciles con su amistad.

A la Ing. Regina Cuéllar, por su amistad sincera y su apoyo incondicional. Su compañía ha hecho más ligeros los desafíos.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
INTRODUCCION.....	1
Justificación	2
Objetivo	2
Hipótesis	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Generalidades del cultivo de papa	3
Taxonomía	3
Relevancia histórica d la papa	4
Producción nacional	5
Producción mundial.....	5
Consumo De papa en México.....	6
Valor y periodos de producción de la papa en México.....	7
Virus vegetales.....	7
Virus vegetales en el cultivo de papa.....	8
Especies virales.....	9
Generalidades de PVY	10
Regulación Fitosanitaria	11
Variantes de PVY	11
Cepas presentes en México.....	12
Insectos vectores de PVY	13

Dióxido de Cloro	13
MATERIALES Y MÉTODOS	15
Fuente de Inoculo	15
Diagnostico por TAS-ELISA en tubérculo	15
Propagación de inóculo	19
Diagnostico por TAS-ELISA en plantas infectadas con PVY	19
Diseño Experimental	21
Inoculación	22
Evaluación de la concentración viral en plantas de papa	23
Bioensayo en tabaco (<i>Nicotiana longiflora</i>).....	24
RESULTADOS	26
Prueba Elisa en semilla tubérculo.....	26
Detección de PVY en plantas de papa.....	26
Efecto del dióxido de cloro sobre la propagación de PVY.....	27
Efecto del dióxido de cloro sobre PVY en plantas de tabaco.....	28
DISCUSIÓN.....	30
CONCLUSIÓN	32
BIBLIOGRAFÍA	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción De Papas, Patatas: Los 10 Productores Principales. Fuente: FAOSTAT (2023)	6
Figura 2. Papas colectadas en campo	15
Figura 3. selección de tubérculos recolectados	15
Figura 4. (A) carbonato de sodio y bicarbonato de sodio mezclado con agua destilada, (B) Medición de PH, (C) anticuerpo de captura	16
Figura 5. (A) Lavado de la placa, (B) agregación de tejido vegetal, (C) incubación de la placa	17
Figura 6. (A) preparación de buffer ECM, (B) anticuerpo de detección, (C), conjugado enzimático.....	17
Figura 7. (A) PNP Substrate Buffer, (B) Placa cubierta para evitar la entrada de luz.....	18
Figura 8. Placa lista para la lectura.....	18
Figura 9. Inoculación de plantas sanas nueva fuente de inóculo.....	19
Figura 10. Placa de 98 orificios utilizada para realizar lecturas en espectrofotómetro para el diagnóstico de PVY.	20
Figura 11. Establecimiento del experimento	21
Figura 12. Plantas formadas y sanas para el experimento	22
Figura 13. Inoculación de PVY en plantas sanas de papa.	23
Figura 14. Síntomas por PVY en plantas de papa. a y b) mosaicos en hojas.	24
Figura 15. Extracción viral mediante maceración por fricción de tejido vegetal sintomático.	24
Figura 16. Síntomas de PVY en plantas de tabaco	25
Figura 17. Efecto del dióxido de cloro sobre la propagación de PVY en plantas de tabaco.	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volumen de producción nacional.....	5
Tabla 2. Top 10 En volumen de producción de principales entidades.....	6
Tabla 3. Resultados de la prueba en tubérculos semilla.	26
Tabla 4. Resultados de la prueba en plantas inoculas con PVY	27
Tabla 5. Comparación de niveles de absorbancia entre tratamientos	28

INTRODUCCION

Potato virus Y (PVY, *Potyvirus yituberosi*) es un patógeno de distribución cosmopolita, presente en todas las regiones agrícolas donde se cultivan solanáceas, especialmente la papa. (Jacquot, 2017). Las pérdidas en producción asociadas a su presencia reflejan la capacidad para establecer medidas fitosanitarias en zonas de producción susceptibles (Gray *et al.*, 2010; Martínez, 2018). Existen diferentes cepas de PVY, las cuales pueden inducir síntomas atípicos dependiendo del hospedante infectado remarcando aún más la importancia de este virus (Castro *et al.*, 1992; García y Franco, 2015).

El uso de productos químicos para el control del PVY se considera poco efectivo, siendo la manera más común el control de los insectos vectores (Díaz *et al.*, 2022). PVY es propagado por pulgones, *Myzus persicae*, considerado uno de los más importantes, lo cual facilita la dispersión e incidencia (Nanayakkara, *et al.*, 2013; Machado-Assefh *et al.*, 2023; Kirchner *et al.*, 2014).

El dióxido de cloro es un potente oxidante que al reaccionar con el agua produce iones de clorito, los iones de clorito son muy reactivos. Algunos microorganismos terminan siendo erradicados al exponerse a ellos (Giachetto., 2021). Por lo que la alta reactividad de esta sustancia y su acción directa sobre las proteínas explican su eficacia contra diversos microorganismos, incluidos los virus (Cavero., 2020). Esta investigación podría resultar ser una potencial solución para el manejo del PVY para plantas establecidas en campo.

Justificación

Debido a las limitadas alternativas para manejar PVY en el cultivo de papa, es necesario evaluar estrategias que permitan la reducción de la propagación viral en plantas y el manejo de los insectos vectores. Las aspersiones foliares con dióxido de cloro podría ser una alternativa efectiva para reducir la carga viral en plantas de papa.

Objetivo

Reducir la concentración viral de PVY mediante aplicaciones de dióxido de cloro en plantas de papa cultivadas en invernadero.

Hipótesis

La aplicación del dióxido de cloro disminuirá la carga viral por PVY, interfiriendo directamente con la propagación viral en las plantas de papa.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del cultivo de papa

Las características fisiológicas del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) juegan un papel esencial en su adaptación y productividad. Uno de los rasgos más relevantes es la duración del ciclo vegetativo, existen cultivares que completan su ciclo en aproximadamente 90 días, mientras que otros superan los 140 días (Quintero, 2007; Henao-Díaz, 2013). La planta presenta un crecimiento erecto, semierecto o postrado, con una altura que puede oscilar entre 75 y más de 100 cm durante la floración. Puede florecer escasamente o de forma profusa. Los tallos presentan pigmentación variable. Las hojas están compuestas por varios pares de folíolos primarios, secundarios e inter-hojuelas, con diversas formas y grados de sobreposición. Las flores se agrupan en inflorescencias ramificadas, con pedicelos pigmentados y corolas que pueden ser estrelladas, semiestrelladas o pentagonales (CCBAT, 2008). Requiere temperaturas óptimas entre 15 y 20 °C, ya que valores superiores a 25 °C afectan negativamente la tuberización y el rendimiento (Luna, 2016). La papa presenta un sistema de fotosíntesis tipo C3, sensible a condiciones de estrés hídrico y térmico, lo que limita su eficiencia fotosintética en climas cálidos (Molina, 2021).

Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *tuberosum* L.

Ubicación taxonomía analizada por Rodríguez (2009).

Relevancia histórica d la papa

La papa (*Solanum tuberosum* L.) se ha consolidado como uno de los cultivos más relevantes a nivel mundial, ocupando el tercer lugar en importancia alimentaria después del arroz y el trigo. Su consumo supera los mil millones de personas y la producción global rebasa los 300 millones de toneladas anuales (CIP, s.f.). La riqueza genética de este cultivo es notable, con más de 4,000 variedades nativas registradas principalmente en los Andes y alrededor de 180 especies silvestres, muchas de ellas valiosas por conferir resistencia natural frente a plagas, enfermedades y condiciones ambientales adversas (CIP, s.f.). Además, se han documentado cerca de 7,000 variedades cultivadas a lo largo de la historia, lo que refleja no solo su diversidad, sino también su influencia cultural en diferentes regiones del mundo (Martin, 2010).

En términos de seguridad alimentaria, la papa ha estado en el centro de eventos históricos que evidencian su trascendencia. Un caso emblemático fue la hambruna irlandesa del siglo XIX, provocada por el tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary). Investigaciones recientes han secuenciado el genoma de este patógeno, lo que ha permitido diseñar nuevas estrategias de control y avanzar en la mejora genética del cultivo, reduciendo así los riesgos asociados a futuras epidemias y reforzando la relevancia de la papa en la estabilidad alimentaria global (Martin, 2010).

Según diversos estudios sobre el origen y domesticación de la papa (*Solanum tuberosum*), las primeras formas cultivadas se habrían seleccionado entre 6,000 y 10,000 años atrás en la región andina, al norte del lago Titicaca, en el actual sur de Perú (Hawkes, 1990; Spooner et al., 2014). Se considera que estas primeras variedades derivaron de especies silvestres como *Solanum bukasovii*, *S. canasense* y *S. multisectum*, pertenecientes al complejo *S. brevicaulis*. De este grupo habría surgido *S. stenotomum*, reconocida como la primera papa domesticada. Posteriormente, mediante sucesivos procesos de poliploidización sexual e hibridación interespecífica e intervarietal en diferentes zonas de cultivo, se originó *S. andigena*, lo que permitió ampliar la diversidad y adaptabilidad genética de las papas andinas (Spooner et al., 2005).

Más adelante, los cultivares chilenos se formaron a partir de la hibridación entre poblaciones andinas cultivadas y la especie silvestre *S. tarijense* (Bradshaw & Ramsay, 2005). Durante el siglo XVI, la papa fue introducida en Europa, desde donde se difundió a otras regiones del mundo. En la actualidad, las variedades cultivadas globalmente se agrupan bajo el nombre *Solanum tuberosum* (Hijmans & Spooner, 2001).

Producción nacional

En México se registró una superficie sembrada de 63,861 hectáreas (ha), de las cuales se cosecharon 62,123 hectáreas. La producción total fue de 2,598,939 toneladas (t), con un rendimiento promedio nacional de 40.70 (t/ha) (Tabla 1) (SIAP, 2025). Además, México ocupó el puesto 35° en la producción mundial, con una producción de 1,947,761 (t) (FAOSTAT, 2023).

Tabla 1. Volumen de producción nacional

No.	Entidad	Total
1	Superficie a sembrar (ha)	63,861.64
2	Producción a obtener	2,598,939.18
3	Rendimiento esperado (t/ha)	40.7

Fuente: SIAP (2025)

Producción mundial

Durante el ciclo 2023, la superficie cosechada fue de 16,799,108 ha y una producción de 383,082,607 t, donde, China Continental fue el principal productor con 93,430,000 t, seguido de India con 60,142,000 t, y en tercer lugar Ucrania con 21, 358, 630 t (Figura 1) (FAOSTAT, 2023).

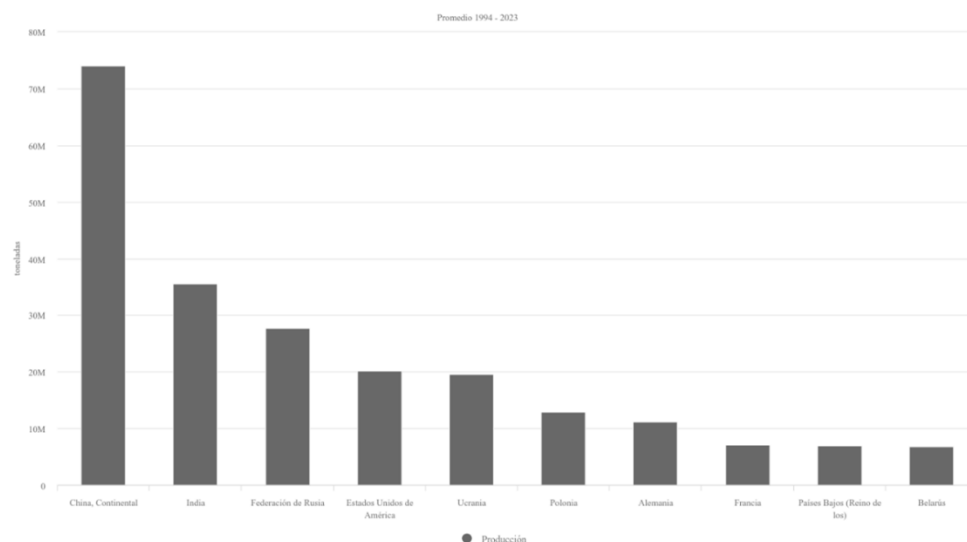


Figura 1. Producción De Papas, Patatas: Los 10 Productores Principales. Fuente: FAOSTAT (2023)

Consumo De papa en México

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural SADER (2023) en la última década, el cultivo de papa en México ha mostrado un crecimiento, con una tasa media anual del 1.9%, lo que refleja la importancia de este producto dentro de la agricultura nacional. Durante el 2023, la producción alcanzó un total de 1,986,199 toneladas, cifra que representó un incremento de 5.7% en comparación con el año anterior. Este crecimiento no solo confirma la relevancia del cultivo, sino también su impacto en la dieta de la población mexicana, ya que el consumo per cápita de los mexicanos es de 16.4 kilogramos por persona. La producción se realiza en diferentes estados de la república, lo que permite garantizarla presencia de este producto a lo largo del año. Entre las entidades que más destacaron en el 2023 fueron Sonora, Sinaloa y Estado de México, que se colocaron como los principales productores por volumen a los que les siguen, Veracruz, Puebla, Nuevo León, Baja California Sur, Jalisco, Michoacán y Chihuahua (Tabla 2).

Tabla 2. Top 10 En volumen de producción de principales entidades

Rank	Entidad federativa	Región	Volumen (toneladas)	Variación (%) 2022-2023
1	Sonora	Noroeste	612,600	14.8

2	Sinaloa	Noroeste	427,588	5.9
3	México	Centro	168,750	4.3
4	Veracruz	Sur-Sureste	143,725	-11
5	Puebla	Centro	136,700	28.4
6	Nuevo León	Noreste	107,598	-15.2
7	Baja California Sur	Noroeste	73,489	-4.7
8	Jalisco	Centro-Occidente	65,367	5.4
9	Michoacán	Centro-Occidente	55,501	-17.7
10	Chihuahua	Noreste	45,279	59.2
	Resto		149,601	-0.2
	Total nacional		1,986,199	5.7

Fuente: SADER (2023)

Valor y periodos de producción de la papa en México

Sonora, registró un incremento de 17% en comparación con 2022, alcanzando un valor de 5,053 millones de pesos y en el caso de Coahuila la producción alcanzo 9,960 (t) en una superficie de 277 (ha) dando un rendimiento promedio de 35 (t/ha). El precio medio rural se situó en 8,774 pesos por tonelada, mientras que el rendimiento promedio fue de 32 toneladas por hectárea, cifras que reflejan la competitividad del cultivo. Durante ese mismo año, la superficie sembrada ascendió a 62 mil hectáreas, de las cuales únicamente 0.3 mil hectáreas resultaron siniestradas. En cuanto a su disponibilidad, la papa es reconocida como el tubérculo más importante en México debido a su alta presencia en el mercado a lo largo de todo el año. Pero cabe señalar que sus cifras más altas de producción se concentran principalmente entre los meses de febrero a junio, así como en septiembre a noviembre, periodos que aseguran un abasto constante en los mercados nacionales (SADER, 2023).

Virus vegetales

Los virus son agentes infecciosos extremadamente pequeños, invisibles incluso a los microscopios; aunque no son células y se parecen más a partículas, se pueden definir como elementos genéticos que contienen ADN o ARN y que solo pueden replicarse dentro de una célula hospedante (Montaño Icedo, 2023). A pesar de su simplicidad, poseen la capacidad de

provocar graves alteraciones en los organismos que invaden. Su estructura básica se compone de un fragmento de material genético protegido por una cápside proteica, y esta información genética suele codificar varias proteínas esenciales para su funcionamiento. Debido a que carecen de metabolismo propio, los virus dependen totalmente de la maquinaria celular de sus hospedantes para replicarse, lo que los convierte en parásitos obligados; además, permanecen inactivos fuera de sus hospedantes, lo cual ha alimentado la discusión sobre si deben considerarse seres vivos. Pueden infectar a una amplia gama de organismos, desde animales y plantas hasta hongos y bacterias (Gergerich & Dolja, 2008).

Estas nano proteínas a lo largo de la historia han dejado una huella significativa en la humanidad y en la agricultura. Desde tiempos antiguos se han registrado evidencias de sus efectos. En grabados egipcios se ha observado al sacerdote Remsi con la pierna izquierda deformada, atribuida a la infección por el virus de la polio (Figura 2) (Cadena Nava y Rubén Darío, 2014).

Durante el siglo XVII, Holanda vivió una crisis económica relacionada con la denominada “tulipomanía”. Este fenómeno consistió en la euforia por la compra de tulipanes afectados por el Tulip breaking virus (TBV, *Potyvirus tulipadeffectum*) (Figura 2), que alteraba la apariencia de las flores produciendo líneas o bandas multicolores en los pétalos. La infección de los tulipanes generó fluctuaciones en su precio y provocó pérdidas económicas, dejando constancia de cómo los virus también impactaban en la agricultura y la economía (Cadena Nava y Rubén Darío, 2014).

Virus vegetales en el cultivo de papa

Los virus que afectan a la papa presentan distintos tipos de material genético; algunos están constituidos por ADN, mientras que otros contienen ARN, lo cual influye en su comportamiento y capacidad de infección (Garrido, 2018; Vasquez-Gutierrez et al., 2024). Sin embargo, se han identificado más de 30 virus que afectan al cultivo de papa, disminuyendo tanto el rendimiento como la calidad de los tubérculos. (Bradshaw *et al.*, 2007). A diferencia de otros patógenos como los hongos y las bacterias, los virus no pueden ser controlados mediante tratamientos convencionales, lo que representa un desafío importante para su manejo (González, 2017; Vasquez-Gutierrez et al., 2025). Esto se debe a

que son parásitos obligados, es decir, necesitan de organismos vivos para replicarse y transmitirse, utilizando a menudo vectores biológicos (de la Isla. 2024). En el cultivo de papa, uno de los principales medios de transmisión es el material de propagación, como los tubérculos, los cuales pueden portar el virus sin mostrar síntomas evidentes, convirtiendo a la misma planta en un vector (Mesa, 2016). Debido a este riesgo, los países deben establecer normativas fitosanitarias estrictas que regulen la producción y el intercambio de material vegetal libre de virus y otros patógenos (FAOSTAT, 2006; Tzanetakis et al. 2024). En el caso de México, se aplica la Norma Oficial Mexicana NOM-041-FITO-2002, la cual establece los requisitos y especificaciones fitosanitarios para la producción de material propagativo asexual de papa, funcionando como una medida de protección nacional ante estos agentes.

Especies virales

Los virus más estudiados en papa (*Solanum tuberosum*) debido a su alta prevalencia y efectos productivos son potato virus Y, potato virus X (PVX *potexvirus ecspotati*) y potato leafroll virus (PLRV, *Polerovirus PLRV*). Los primeros síntomas observados fueron el enrollamiento foliar por PLRV y los mosaicos por PVX y PVY, responsables de la degeneración de cultivares y la reducción del rendimiento (Bradshaw *et al*, 2007).

Potato virus Y (PVY)

Las infecciones por PVY pueden reducir el rendimiento entre un 10 y un 80%, según el cultivar, la cepa viral y el manejo de insectos y maleza. La necrosis del tubérculo también disminuye la calidad y el rendimiento comercial. (González *et al*, 2013).

Potato virus X (PVX)

El PVX es uno de los virus más comunes y ampliamente distribuidos en el cultivo de papa a nivel mundial. Tiene un amplio rango de hospederos, ya que puede infectar más de 240 especies pertenecientes a 16 familias botánicas, siendo la familia Solanaceae la más afectada debido a la alta susceptibilidad de sus especies (González *et al*, 2013).

Potato leafroll virus (PLRV)

El PLRV es uno de los virus más relevantes que afectan al cultivo de papa, ya que reduce tanto el rendimiento como la calidad de los tubérculos. Las pérdidas económicas son variables y difíciles de estimar con precisión, aunque pueden alcanzar hasta un 90%, cifra

que suele correlacionarse con la proporción de plantas que manifiestan síntomas visibles de infección. (González *et al*, 2013).

Generalidades de PVY

Potato virus Y (PVY *Potyvirus yituberosi*) es miembro del género *Potyvirus* pertenece a uno de los ocho géneros, de la familia *Potyviridae*. La familia *Potyviridae* es la segunda familia de virus de plantas más grande después de *Geminiviridae*, y abarca aproximadamente el 30 % de todos los virus de plantas descritos (ICTV, 2022).

Ubicación taxonómica (ICTV, 2024).

Reino: Orthornavirae

Phylum: Pisuviricota

Clase: Stelpaviricetes

Orden: Patatavirales

Familia: Potyviridae

Género: *Potyvirus*

Especie: *Potyvirus yituberosi*

Caracterización fisicoquímica de PVY

Los viriones del Virus Y de la papa (PVY) son partículas filamentosas flexuosas que miden entre 680 y 900 nm de largo y 11 a 13 nm de ancho, presentando una simetría helicoidal con una separación aproximada de 3,4 nm. Estas partículas contienen una única molécula de ARN monocatenario lineal de sentido positivo (RNAss+), con una longitud de 9,7 a 11 kb y un extremo poli(A) en el 3'. El contenido de ARN representa alrededor del 5 % del peso total del virión. Además, los viriones poseen una sola proteína de la cápside (PC) con un peso molecular de 30 a 47 kDa, la cual en la mayoría de los aislados del PVY está constituida por 267 aminoácidos (ICTV, 2022).

Regulación Fitosanitaria

Dado que México ha importado semilla tubérculo de papa de países con presencia de PVYⁿ, la norma establece la necesidad de monitorear y analizar los cultivos para verificar su ausencia, ya que la detección de este virus ocasiona la cuarentena total del lote y, en su caso, de los alrededores. La certificación fitosanitaria se otorga solo si los análisis de laboratorio demuestran la ausencia de PVY, PVX, PVS y PVA, con validez de dos años y renovación mediante nuevo muestreo y diagnóstico. A diferencia de otras plagas no cuarentenarias que se inspeccionan visualmente, la detección de PVY se realiza mediante ELISA, aplicándose en minitubérculos y folíolos muestreados en campo o invernadero. Durante el ciclo, se inspeccionan plantas a los 40 y 70 días después de la siembra y se toman muestras de 150 folíolos por lote para confirmar la ausencia del virus en laboratorio; en cosecha, se revisan de manera aleatoria 400 tubérculos por cada 10 hectáreas. En caso de observar síntomas no concluyentes, el material debe enviarse a un laboratorio de pruebas, y todos los gastos de envío y diagnóstico corren a cargo del interesado (NOM-041-FITO-2002).

Variantes de PVY

PVY^o

Se caracteriza por inducir reacciones de hipersensibilidad en cultivares de papa con el gen *Ny tbr*. No ocasiona necrosis venosa en tabaco y se diferencia de PVY^c por su interacción con genes de resistencia específicos (Jones, 1990).

PVYⁿ

Presenta la particularidad de causar necrosis venosa grave en tabaco, mientras que en papa solo induce reacciones de hipersensibilidad en pocos cultivares (Jones, 1990; Valkonen, 1997).

PVY^c

Los aislados de PVY^c se diferencian de otras cepas de PVY por inducir reacciones de hipersensibilidad en cultivares de papa que poseen el gen *Nc*. A diferencia de PVYⁿ, no provocan necrosis venosa en tabaco. Algunos aislados de este grupo no son transmisibles por áfidos, lo que generó confusión histórica al ser considerados como el “virus de la papa C”

(PVC), posteriormente reconocido como una cepa de PVY (Cockerham, 1943; Bawden y Kassanis, 1947; Blanco-Urgoiti et al., 1998).

PVY^{ntn}

Es una variante que induce necrosis en tubérculos de papa. La mayoría de sus aislados son recombinantes con segmentos de PVY^o y PVYⁿ en distintas regiones genómicas, aunque también existen aislados de tipo N sin recombinación. Se han identificado dos grupos principales: América del Norte y Europa (Le Romancer et al., 1994; Revers et al., 1996; Boonham et al., 1999; Nie & Singh, 2002).

PVY^{nw}

Corresponde a recombinantes que combinan segmentos de PVY^o y PVYⁿ. Poseen proteína de la cubierta de tipo PVY^o, pero conservan la capacidad de inducir necrosis venosa en tabaco. Todos los aislados muestran uno o dos puntos de recombinación (Revers et al., 1996; Glais et al., 1998, 2002a).

PVY^{n:o}

Es una variante recombinante que comparte propiedades de PVY^o y PVYⁿ. Presenta proteína de la cubierta de tipo PVY^o y mantiene la capacidad de inducir necrosis venosa en tabaco (Singh et al., 2003; McDonald & Singh, 1996; Chachulska et al., 1997; Glais et al., 1998; Nie & Singh, 2003).

Cepas presentes en México

En México se han identificado diversas cepas del Potato virus Y (PVY, *Potyvirus yituberosi*). Hasta 2018, se habían reconocido ocho grupos de cepas de PVY, los cuales presentan variaciones en el tipo y severidad del daño que generan en diferentes variedades de papa y tabaco (Glais et al., 2017). A nivel nacional, se ha confirmado la presencia de los grupos PVY^o, PVY^N y PVY^{NTN} (Ramírez et al., 2009; Hernández et al., 2007;). No obstante, no se han detectado las cepas PVY^C, PVY^E ni el grupo denominado “PVY^{other}”.

Se tomaron muestras de plantas que presentaban síntomas de mosaico, amarillamiento y hojas en forma de cuchara, y el análisis de estas muestras confirmó la presencia de las cepas

PVY^o, PVY^N, PVY^{NTN} y PVY^{N:O} (Quintero, 2013). De manera particular, la variante PVYNTN ha sido reportada en campos comerciales de papa (Hernández et al., 2007)

Insectos vectores de PVY

Potato Virus Y (PVY) es transmitido de forma no persistente por numerosas especies de áfidos. Entre los vectores reportados destacan *Myzus persicae*, considerado el más importante por su amplia distribución y alta eficiencia de transmisión, así como *Macrosiphum euphorbiae* y *Aulacorthum solani*, que colonizan papa de manera directa. También se mencionan *Aphis nasturtii* y *Aphis fabae*, junto con otras especies del género *Aphis*, que aunque menos eficientes, pueden intervenir en la diseminación del virus. Otras especies como *Rhopalosiphum padi* y *Brachycaudus helichrysi* no colonizan papa, pero al visitarla se han involucrado en la transmisión de PVY (Harrington & Gibson, 1989; De Bokx, 1987; Hernández et al. 2007).

En estudios realizados, se observó que *M. persicae* y *B. helichrysi* representaron aproximadamente la mitad de las transmisiones, aunque también *Phorodon humuli* y diversas especies de *Aphis* desempeñaron un papel relevante (Harrington et al., 1986; Harrington & Gibson, 1989).

Dióxido de Cloro

El dióxido de cloro (ClO₂) es un compuesto oxiclórico al que se le atribuye efectividad microbiana debido a la capacidad que tiene para desnaturalizar proteínas esenciales en los organismos además se ha encontrado que induce a la nitrificación oxidativa de algunos residuos de triptófano y tirosina en proteínas clave lo que induce a la pérdida de funcionalidad celular lo que hace que el dióxido de cloro se considere como un agente eficaz para la efectividad microbiana por lo que se cree que puede tener un uso para diferentes organismos perjudiciales en áreas como de interés como lo son la sanitaria, industria y alimentarios (Ogata, 2007).

Acción contra células cancerígenas

El ClO₂ ha tenido efectos notables en células cancerígenas como cáncer de mama y cáncer colorrectal. Esta acción parece que tiene relación con la capacidad para generar especies

reactivas de oxígeno (ROS), las cuales dañan selectivamente a las células cancerígenas (Kim, 2016).

Acción antifúngica

Se ha visto que el ClO_2 detiene el crecimiento de hongos como lo es *Botrytis cinerea*, El cual es un hongo fitopatogeno comúnmente llamado moho, su acción fue afectar la germinación de esporas, el crecimiento de tubos germinativos además de alterar la membrana celular del hongo (Fu, 2019).

Acción antiviral

El ClO_2 puede tener efectos antivirales importantes. Como en el caso de baculovirus AcNPV que es un virus que afecta a insectos y el virus del mosaico del tabaco, al usar el dióxido se ha mostrado una reducción de los síntomas de estos virus (Kim, 2016; Gutierrez et al., 2024).

MATERIALES Y MÉTODOS

Fuente de Inoculo

La fuente de inóculo se obtuvo de un experimento realizado en diciembre 2023 en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Para ello se tomaron algunos tubérculos cosechados durante dicho experimento (Figura 2), los cuales se almacenaron en bolsas de plástico, para posteriormente realizar un diagnóstico serológico y descartar la presencia del virus en cuestión.



Figura 2. Papas colectadas en campo

Diagnostico por TAS-ELISA en tubérculo

De los tubérculos se seleccionaron aquellos con brotes más desarrollados. Fueron 40 tubérculos de papa, se dividieron en 5 grupos conformados por 4 tubérculos (Figura 3). Se empleó la técnica serológica ELISA, tipo sándwich de doble anticuerpo (TAS) utilizando anticuerpos monoclonales específicos para PVY (AGDIA, Inc).



Figura 3. selección de tubérculos recolectados

Para la sensibilización de la placa se procedió con la preparación del Carbonate Coating Buffer (CCB) 1X, un buffer compuesto por carbonato de sodio y bicarbonato de sodio mezclado con agua destilada (Figura 4 A), el cual tuvo un pH alrededor de 9.5 (Figura 4 B). Con este buffer preparado se procedió a contabilizar cada uno de los pocillos de la placa, siendo que 2 fueron para el buffer solamente, 2 para el control negativo (CN), 2 para el control positivo (CP) y 10 más que correspondieron a cada muestra de tejido y su respectiva repetición, dando un total de 18 pocillos a utilizar. Se calculó la cantidad de buffer que se requirió para estos, 100 μ L por cada pocillo, dando un total de 1800 μ L, a los que se les añadió el anticuerpo de captura (Figura 4 C) (ACC 00960) con una concentración de 1:200 μ L, que correspondió a 9 μ L. Después de realizado esto, se agregaron los 100 μ L a cada pocillo, y posteriormente se dejó incubar durante 24 horas a una temperatura de 8 °C.

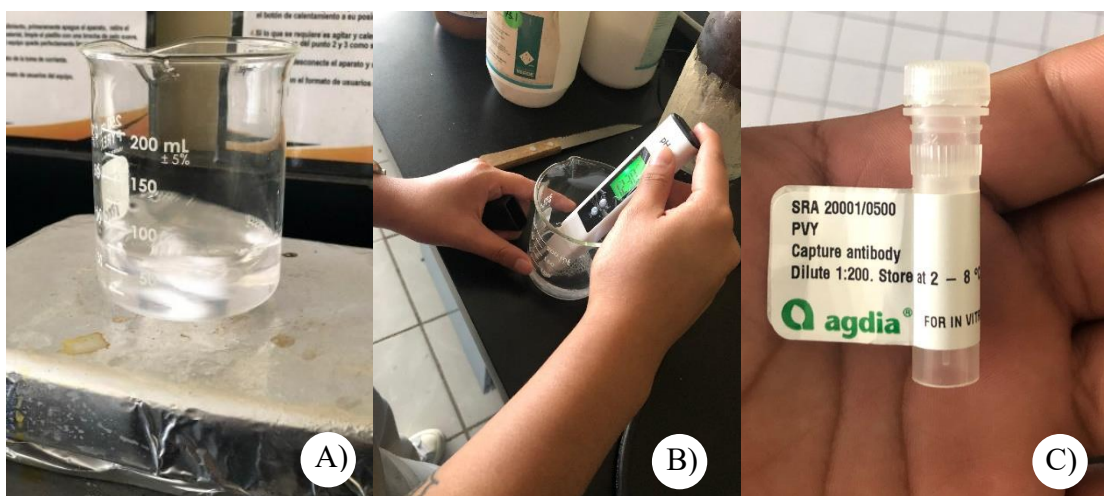


Figura 4. (A) carbonato de sodio y bicarbonato de sodio mezclado con agua destilada, (B) Medición de PH, (C) anticuerpo de captura

Al terminar la incubación, se retiró el CCB y luego se lavó la placa alrededor de 3 veces con el PBST Buffer (1X) (Figura 5 A). Posteriormente, se agregó a cada pocillo la muestra de tejido correspondiente (Figura 5 B), que previamente había sido macerada en bolsas de extracción con ayuda del General Extract Buffer (GEB) 1X de un pH 7.5. a una proporción 1:10 La placa se incubó durante 2 h a temperatura ambiente (22 ± 2 °C) (Figura 5 C). Pasado este tiempo, se lavó la placa alrededor de 8 veces.

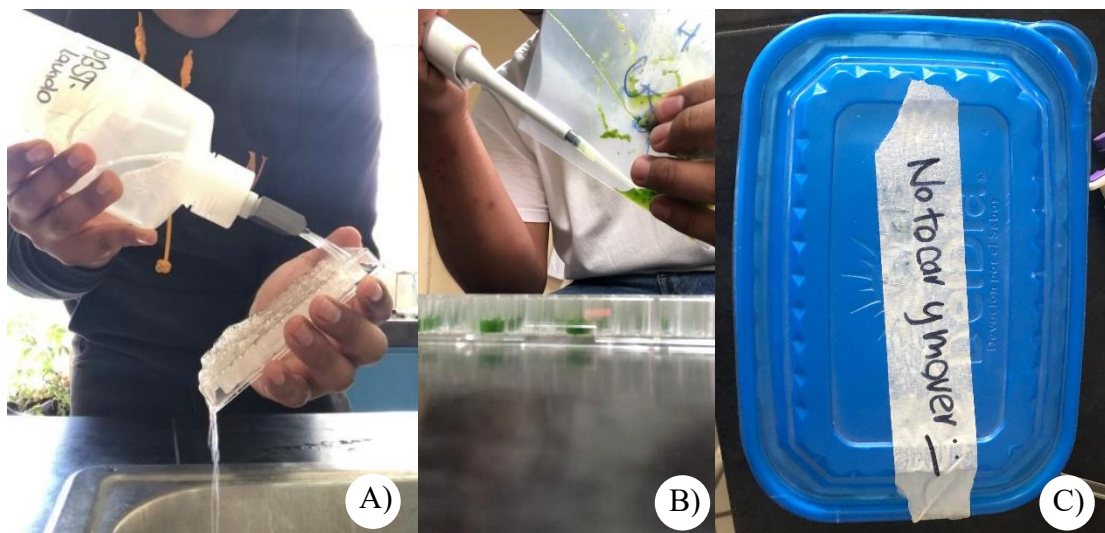


Figura 5. (A) Lavado de la placa, (B) agregación de tejido vegetal, (C) incubación de la placa. Después de esto, se preparó la solución de detección con el buffer ECM (Figura 6 A), del cual se utilizaron 100 μ L por cada pocillo, recordando que fueron 18, dando un total de 1800 μ L. Posteriormente, se mezcló el anticuerpo de detección (botella A) (Figura 6 B) y el conjugado enzimático (botella B) (Figura 6 C), los cuales se usaron con una concentración de 1:200 μ L. Con esto, se agregaron 9 μ L de la botella A y B. Seguido de esto, se agregaron los correspondientes 100 μ L a cada pocillo, y luego se dejó incubar 2 horas a temperatura ambiente.

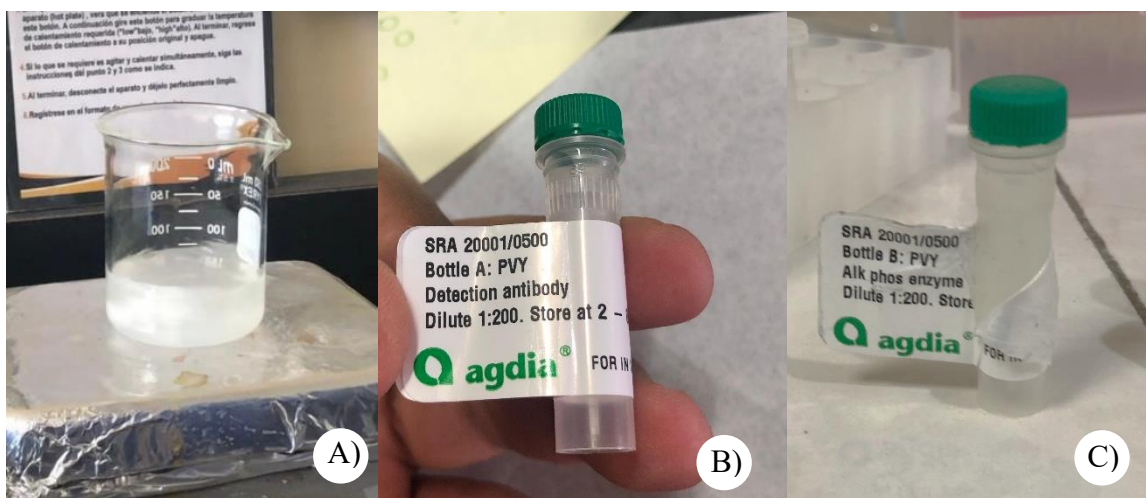


Figura 6. (A) preparación de buffer ECM, (B) anticuerpo de detección, (C), conjugado enzimático

Pasado este tiempo, se lavó la placa con PBST Buffer (1X), también alrededor de unas 8 veces. Posteriormente, se agregó el PNP Substrate en una solución Buffer (1X) (Figura 7 A) a una concentración 1mL/mg. La placa se incubo a temperatura ambiente por 20 minutos hasta realizar las lecturas pertinentes (Figura 7 B).



Figura 7. (A) PNP Substrate Buffer, (B) Placa cubierta para evitar la entrada de luz.

La medición de la concentración viral se realizó mediante densidad óptica (DO) utilizando un espectrofotómetro (Multiskang 60). La primera lectura se realizó a los 20 minutos y posteriormente a los 15 minutos a una absorbancia de 405 nm, en donde se consideró como positivo a todo valor que sea más del doble ($>2\times$) el valor promedio del control negativo.

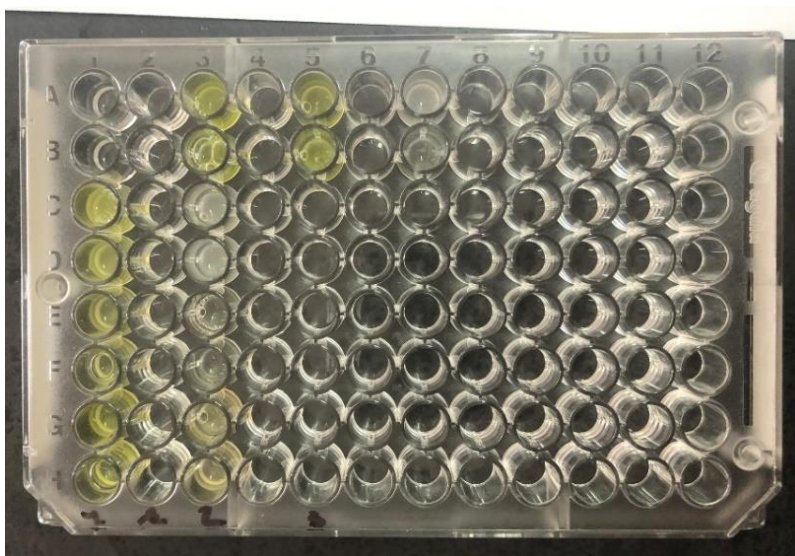


Figura 8. Placa lista para la lectura

Propagación de inóculo

Los tubérculos infectados mostraron baja concentración viral, por lo que se propagaron plantas de papa. Se sembraron en macetas de plástico que contenían sustrato. Posteriormente, se realizó la inoculación en plantas sanas de papa (Figura 9) para propagar el virus.

Para la inoculación se utilizó una solución tampón salina fosfatada (PBS), a una proporción de 1 gramo de tejido por cada 10 ml de PBS, empleando 0.3 gramos de tejido vegetal por planta infectada. La inoculación se llevó a cabo mediante un hisopo el cual se froto en el as de las hojas de papa de la pase a la punta, asegurando un contacto uniforme y facilitando la entrada del virus en las células de la planta.



Figura 9. Inoculación de plantas sanas nueva fuente de inóculo

Diagnostico por TAS-ELISA en plantas infectadas con PVY

15 días posterior a la inoculación (dpi), se utilizó la técnica serológica ELISA para confirmar la presencia del virus en plantas infectadas. Se preparó el Carbonate Coating Buffer (CCB) 1X y se distribuyó en los pocillos de la placa junto con el anticuerpo de captura. La placa se incubó, posteriormente se lavó con PBST Buffer (1X) y se agregaron las muestras de tejido previamente maceradas con GEB 1X. Luego de otra incubación y lavados, se preparó y aplicó la solución de detección (anticuerpo y conjugado enzimático), seguida de una nueva incubación y lavados. Finalmente, se añadió el sustrato PNP, se tapó la placa y se dejó incubar en oscuridad a temperatura ambiente.

La prueba se realizó mediante (DO) con absorbancia de 405 nm realizando lecturas a los 30 y 45 minutos en donde se consideró como positivo a todo resultado mayor o igual al testigo positivo.

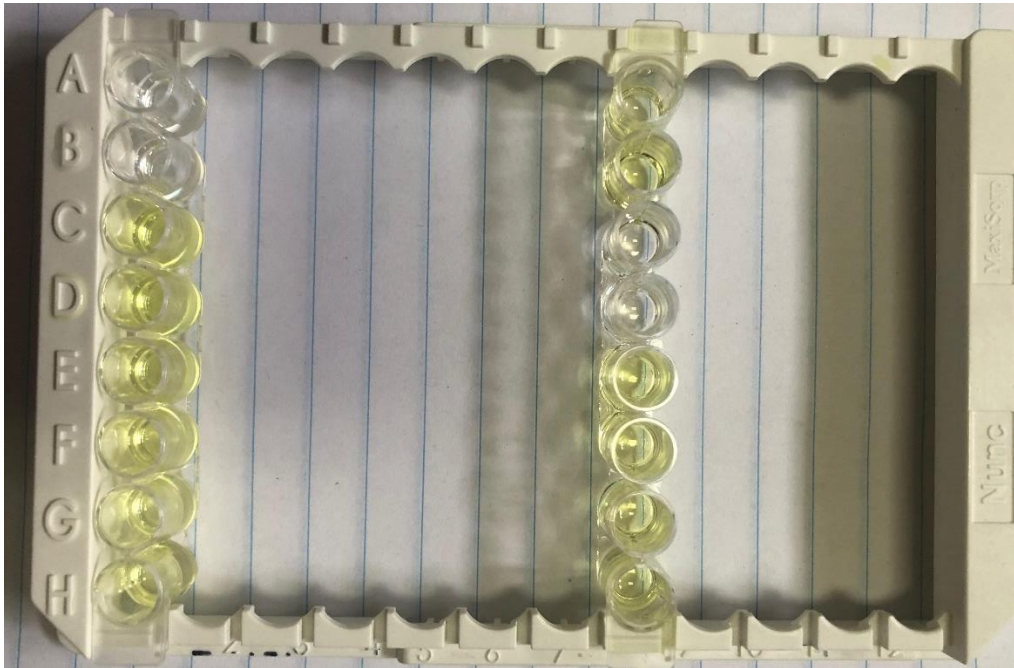


Figura 10. Placa de 98 orificios utilizada para realizar lecturas en espectrofotómetro para el diagnóstico de PVY.

Diseño Experimental

En los invernaderos del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro se estableció un experimento. Se colocaron 50 bolsas de polietileno con capacidad de 5 litros. Se utilizó como sustrato peat moss y materia orgánica a una proporción de 1:1.



Figura 11. Establecimiento del experimento

Se estableció un experimento completamente al azar, con tres tratamientos y dos controles respectivamente (positivo y negativo). Cada tratamiento se replicó 10 veces. Donde, una maceta representó una unidad experimental. En cada maceta se sembraron 3 tubérculos de papa. Los tratamientos fueron los siguientes:

T1 Tratamiento 1: aplicación del dióxido de cloro (ClO_2) antes de la inoculación.

T2: aplicación del ClO_2 después de la inoculación, cada 5 días durante 30 días.

T3: aplicación del ClO_2 después de la inoculación, cada 10 días durante 30 días.

Testigo Positivo: plantas inoculadas sólo inoculadas con PVY durante.

Testigo Negativo: tratamiento sin inoculación ni tratamiento.

Se utilizó el producto comercial OXICU con ingrediente activo: dióxido de cloro (ClO_2) de la casa comercial Seragram, formulado a una concentración del 80%. Para la preparación de la solución, se disolvió 1 g del producto en 1L de agua, obteniéndose una concentración de 800 ppm. Se utilizó 30mL del ClO_2 por planta. Esta solución se empleó para asperjar uniformemente la superficie foliar de cada una de las plantas evaluadas.



Figura 12. Plantas formadas y sanas para el experimento

Inoculación

Cuando las plantas alcanzaron una altura de entre 15 y 20 cm, se procedió con la inoculación. Para ello, se tomaron tres folíolos por planta de papa provenientes de las plantas que fungieron como fuente de inóculo. Los folíolos se colocaron en un mortero de cerámica esterilizado, frío y se homogenizaron suavemente. Se utilizó una solución tampón salina fosfatada (PBS), a una proporción de 1 gramo de tejido por cada 10 ml de PBS. Se emplearon 0.3 gramos de tejido vegetal por muestra.

Con el extracto preparado se utilizó un hisopo para dispersar el inóculo sobre los tres primeros folíolos de cada planta correspondiente a los tratamientos evaluados y al testigo positivo. El hisopo se frotó suavemente desde la base hasta la punta de cada folíolo asegurando un contacto uniforme del extracto con el tejido vegetal (Figura 11).



Figura 13. Inoculación de PVY en plantas sanas de papa.

Evaluación de la concentración viral en plantas de papa

La evaluación de la concentración viral se realizó al finalizar la aplicación de los tratamientos, las plantas contaban con 60 días de edad. De cada planta se seleccionaron tres folíolos del estrato superior. Las muestras se pesaron hasta completar 0.3 gramos y se colocaron en bolsas de maceración junto con solución buffer salina fosfatada. Los extractos obtenidos se depositaron en placas previamente preparadas para la prueba serológica ELISA tipo sándwich de doble anticuerpo (TAS-ELISA), utilizando kits comerciales de AGDIA. Se empleó la técnica anteriormente descrita. La lectura se realizó en un espectrofotómetro a 405 nm, estableciendo como criterio de positividad todo valor igual o superior al promedio del testigo positivo. Finalmente, los valores obtenidos se sometieron a un ANOVA con una prueba de medias tipo tukey ($p > 0.05$), utilizando el Software estadístico Infostat 2.1.



Figura 14. Síntomas por PVY en plantas de papa. a y b) mosaicos en hojas.

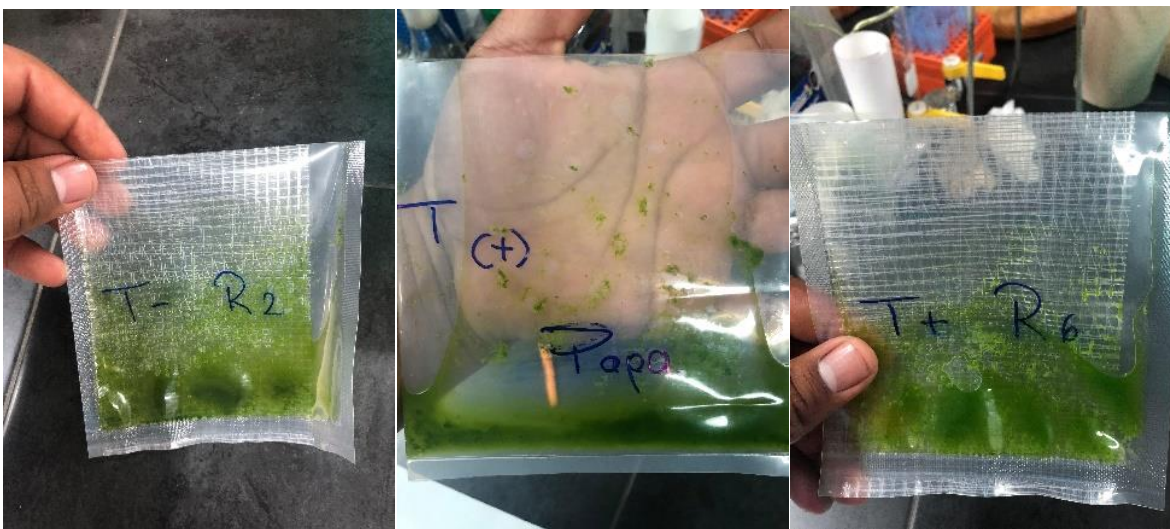


Figura 15. Extracción viral mediante maceración por fricción de tejido vegetal sintomático.

Bioensayo en tabaco (*Nicotiana longiflora*)

Se trasplantaron plantas de tabaco (*Nicotiana longiflora*) de 30 días de edad en macetas de polipropileno con capacidad de 2 L. La severidad se evaluó al finalizar la última aplicación de los tratamientos. Se estableció un diseño completamente al azar. Los tratamientos fueron los mismos empleados en el experimento anterior en el cultivo de papa. Se aplicaron tres replicas por tratamiento. La evaluación de severidad se realizó desde la aparición de síntomas iniciales hasta finalizar el ensayo. En el muestreo se seleccionaron 10 hojas por tratamiento,

representando diferentes niveles de daño por el virus. El % de severidad se calculó aplicando la fórmula $\text{Phytotoxicity (\%)} = \frac{\text{Affected area}}{\text{Total area}} \times 100$ propuesta por Vasquez-Gutierrez et al. (2024). con algunas modificaciones, posteriormente los datos fueron transformados a valores de arcoseno para su normalización, utilizando el programa InfoStat, versión 9.0 Para ello, se analizaron todos los foliolos de cada repetición de cada tratamiento, asignando grados de severidad con el fin de expresar los resultados de manera porcentual. Cada tratamiento se replicó tres veces

El objetivo de esta evaluación fue determinar la severidad por PVY en plantas de papa. Los datos se sometieron a un ANOVA y una prueba de medias Tukey ($p > 0.05$) utilizando el mismo software estadístico.



Figura 16. Síntomas de PVY en plantas de tabaco

RESULTADOS

Prueba Elisa en semilla tubérculo

La prueba de detección del virus en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum*) mostró que todos los materiales evaluados (M1–M5) estaban infectados, con absorbancias iguales o superiores al control positivo (0.382). El control negativo (CN), que no contenía virus, presentó un valor bajo de absorbancia (0.055). Los brotes analizados resultaron positivos a PVY, superando en más del doble ($>2\times$) el valor promedio del control negativo.

Tabla 3. Resultados de la prueba en tubérculos semilla.

Muestras	Concentración viral (DO ⁴⁰⁵)
CN	0.055
CP	0.382
M1	0.371
M2	0.364
M3	0.346
M4	0.363
M5	0.378

DO= Densidad óptica, CN= Control negativo, CP= Control Positivo, M1= Muestra 1, M2= Muestra 2, M3= Muestra 3, M4= Muestra 4, M5= Muestra 5.

Detección de PVY en plantas de papa

La prueba de detección del virus en plantas de papa lo confirmó la presencia del patógeno en plantas evaluadas. El control negativo (CN) mostró un valor bajo de absorbancia (0.130), indicando ausencia de infección, mientras que el control positivo (CP) alcanzó un valor de 2.489.

Las absorbancias registradas en las cinco plantas fueron: 1.677 en la planta 1 (M1), 1.039 en la planta 2 (M2), 1.230 en la planta 3 (M3), 1.180 en la planta 4 (M4) y 1.221 en la planta 5 (M5). Todos estos valores superaron al control negativo. Estos resultados demuestran que todas las plantas de papa inoculadas con material procedente de semilla tubérculo presentaron presencia del virus, confirmando la transmisión del patógeno en las plantas evaluadas.

Tabla 4. Resultados de la prueba en plantas inoculas con PVY

Muestras	Concentración viral (DO⁴⁰⁵)
CN	0.130
CP	2.489
M1	1.677
M2	1.039
M3	1.230
M4	1.180
M5	1.221

DO= Densidad óptica, CN= Control negativo, CP= Control Positivo, M1= Muestra 1, M2= Muestra 2, M3= Muestra 3, M4= Muestra 4, M5= Muestra 5.

Efecto del dióxido de cloro sobre la propagación de PVY

Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias notables en la concentración viral entre los tratamientos y los controles. Para este análisis, el valor del control positivo (CP) se tomó como referencia del 100%. El control negativo (CN) presentó el valor más bajo (15.2%), confirmando la ausencia de infección en plantas. En contraste, el CP alcanzó la concentración viral más elevada (100%).

Los tratamientos evaluados, T1 mostró una concentración de 26.8%^b, mientras que T2 registró un valor de 24.0%^{ab}. De acuerdo con la prueba de medias, T2 (24.0%) compartió similitud tanto con el CN (a) como con T1 (b), lo que indicó que su efecto se encontró en un rango intermedio sin diferencias significativas respecto a ambos. Por su parte, T3 presentó una concentración de 37.2%^c, superior a T1 y T2, pero aun significativamente menor que el CP.

En general, estos resultados indican que los tratamientos T1 y T2 lograron mantener niveles de infección reducidos y comparables al control negativo, mientras que T3, aunque mostró cierta protección, resultó menos eficaz en la reducción de la concentración viral.

Tabla 5. Comparación de niveles de absorbancia entre tratamientos

Tratamientos	Concentración viral (DO ⁴⁰⁵)
CN	0.38±0.00 ^a
CP	2.50±0.00 ^d
T1	0.67±0.20 ^b
T2	0.60±0.08 ^{ab}
T3	0.93±0.24 ^c

DO= Densidad óptica, CN= Control negativo, CP= Control positivo, T1= Tratamiento 1, T2= Tratamiento 2, T3= Tratamiento 3.

Valores con la misma letra en cada columna no muestran diferencia significativa según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El tratamiento 2 (T2) presentó similitud estadística tanto con el control negativo como con el tratamiento 1 (T1), indicando un efecto intermedio en la concentración viral.

Efecto del dióxido de cloro sobre PVY en plantas de tabaco

La evaluación visual de la severidad del virus de la papa Potato virus Y, (PVY *Potyvirus yituberosi*) en plantas de tabaco (*Nicotiana longiflora*) mostró diferencias notables entre controles y tratamientos. El control positivo (CP) alcanzó un nivel de severidad del 50.39 %, validando la efectividad de la inoculación y evidenciando el daño causado por el virus en ausencia de tratamiento.

Respecto a los tratamientos, T1 presentó una severidad promedio de 26.52 %, lo que indica una reducción significativa en comparación con el control positivo. T2 registró un valor cercano, con 29.93 %, manteniéndose también por debajo del nivel de severidad observado en el CP. Sin embargo, T3 alcanzó 41.52 %, un porcentaje considerablemente más alto que T1 y T2, aunque aún menor que el control positivo.

En términos generales, estos resultados demuestran que T1 y T2 fueron los tratamientos más efectivos para disminuir los síntomas del PVY en (*Nicotina longiflora*), mientras que T3, aunque mostró cierto efecto protector, resultó menos eficiente en comparación con los otros tratamientos.



CN= Control negativo, CP= Control positivo, T1= Tratamiento 1, T2= Tratamiento 2, T3= Tratamiento 3.

Figura 17. Efecto del dióxido de cloro sobre la propagación de PVY en plantas de tabaco.

DISCUSIÓN

Los virus vegetales pueden ocasionar pérdidas significativas en los cultivos agrícolas. Santiago-Meza et al. (2025) estimaron que la infección por potato virus Y (PVY, *Potyvirus yituberosi*) en papa establecido bajo condiciones de campo abierto, ocasionaron perdidas en la producción de hasta un 30%, en comparación con plantas sanas. Este resultado confirma el impacto económico de dicho virus y reafirma la necesidad de desarrollar estrategias efectivas de manejo.

Dentro de las alternativas de control, González-Pasayo y Huarte (2011) evaluaron el uso de ácido salicílico en combinación con tratamientos de termoterapia, logrando la eliminación de PVY en plantas *in vitro*. Aunque esta técnica representa una opción viable para la obtención de semilla de papa (*Solanum tuberosum*) libre del virus, su aplicación práctica se restringe a condiciones de laboratorio y no a plantas ya establecidas en campo lo que contrasta con la investigación realizada, por la aplicación bajo condiciones de invernadero y escalamiento a campo abierto.

En contraste, un estudio realizado por Noha et al. (2018) en donde evaluó el uso de nanopartículas de plata (AgNPs) como agente antiviral en tomate, demostrando su capacidad para inducir resistencia sistémica adquirida (SAR) tomato mosaic virus (ToMV) y potato virus Y (PVY) en donde los resultados indicaron que la aplicación de AgNPs redujo significativamente la severidad de la enfermedad y la concentración relativa de ambos virus, al realizarse bajo condiciones de invernadero, ofrecen la posibilidad de ser escaladas hacia aplicaciones en campo abierto, ampliando así el alcance del control antiviral más allá de las técnicas limitadas al laboratorio que es algo que también se obtuvo en nuestro estudio.

Otro estudio realizado por Contreras y Contreras (2001) en donde se evaluó la efectividad del agente antiviral AV-100 compuesto por resinas, fito-ácidos, carbohidratos y aditivos de aspersión y la sinergia con Citrol en plantas de papa infectadas con el virus Y. Se analizaron distintas dosis de AV-100 aplicadas con y sin Citrol, así como diferentes momentos de aplicación durante el desarrollo de las plantas y en la primera descendencia. La presencia del virus se determinó mediante DAS-ELISA y espectrofotometría. Los resultados mostraron que ninguna dosis logró eliminar completamente el virus dándonos también con esto otro antecedente de como evaluaron un compuesto diferente obteniendo resultados poco

relevantes de esta manera confirmamos la importancia de buscar más opciones de control para PVY.

Los tratamientos evaluados en plantas de tabaco (*Nicotiana longiflora*) demostraron capacidad antiviral frente al potato virus Y, redujeron la severidad de los síntomas en comparación a plantas no tratadas. La variación observada entre los tratamientos se relaciona con las diferentes formas de aplicación, indicando que la manera de administrar el compuesto influye significativamente en su eficacia. Esto confirma lo reportado por estudios evaluados con el ClO₂ al cual se le atribuyó actividad antiviral en plantas. Jeon et al. (2016) reportaron que el ClO₂, originalmente utilizado en aplicaciones médicas, mostró eficacia antiviral contra el tobacco mosaic virus (TMV, *Tobamovirus tabaci*).

Los resultados obtenidos muestran que los tratamientos evaluados fueron efectivos para reducir la concentración viral en comparación con el control positivo, evidenciando capacidad antiviral. T1 y T2 lograron mantener niveles de infección cercanos al control negativo, mientras que T3, aunque también presentó cierto nivel antiviral, resultó menos eficiente. Estos hallazgos se respaldan con estudios previos que demuestran la efectividad de compuestos antivirales en otros sistemas vegetales. Por otro lado, Gutiérrez et al. (2024) reportaron que el dióxido de cloro redujo la propagación del tomato brown rugose fruit virus (ToBRFV, *Tobamovirus fructirugosum*) en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), confirmando la eficacia para reducir la concentración viral durante el manejo del cultivo en condiciones de invernadero y campo abierto.

CONCLUSIÓN

Las aplicaciones de dióxido de cloro lograron reducir la carga viral en un poco más del 70 % en plantas de papa y tabaco infectadas con Potato virus Y. Este nivel de eficacia sugiere que el compuesto podría incorporarse como parte de estrategias de manejo fitosanitario basadas en aplicaciones foliares, orientadas a disminuir la incidencia del virus y las pérdidas en el rendimiento. Podría recomendarse su aplicación de forma preventiva en etapas tempranas del cultivo, con el fin de reducir la probabilidad de infección y mantener baja la presión viral en el campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bawden, F. C., & Kassanis, B. (1947). The behaviour of some naturally occurring strains of potato virus Y. *Annals of Applied Biology*, 34(4), 503-516.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1947.tb06384.x>
- Blanco-Urgoiti, B., Sánchez, F., Pérez de San Román, C., Dopazo, J., & Ponz, F. (1998). Potato virus Y group C isolates are a homogeneous pathotype but two different genetic strains. *Journal of General Virology*, 79(8), 2037-2042.
<https://doi.org/10.1099/0022-1317-79-8-2037>
- Bokx, J.A. y Huttinga, H. 1981. Potato Virus Y. CMI/AAB Descriptions of Plant Viruses. No. 242 (No. 37 revisado). Commonwealth Mycol. Inst. / Assoc. Applied Biol., Kew, Surrey, Inglaterra.
- Boonham, N., Hims, M., Barker, I., & Spence, N. (1999). Potato virus Y from petunia can cause symptoms of potato tuber necrotic ringspot disease (PTNRD). *European Journal of Plant Pathology*, 105(6), 617-621.
<https://doi.org/10.1023/A:1008715224185>
- Bradshaw, J. E., & Ramsay, G. (2005). Utilisation of the Commonwealth Potato Collection in potato breeding. *Euphytica*, 146(1), 9-19. <https://doi.org/10.1007/s10681-005-3881-4>
- Cadena Nava y Rubén Darío. (2014). Partículas tipo virus y su potencial aplicación en bionanotecnología. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 7(13), 48-55. Epub 11 de junio de 2021. Recuperado en 10 de septiembre de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912014000200048&lng=es&tlng=es.
- Castro, M., Rodríguez, D., & Alonso, X. 1992. Utilización de diferentes métodos de diagnóstico de tres potyvirus en el cultivo del pimiento. *Protección de Plantas*, 2(1).

<https://agris.fao.org/search/en/providers/122597/records/647245ed2c1d629bc97969c2>

Cavero Olguin, V. H. (2020). Dióxido de cloro, los milagros no existen. Con-Ciencia (La Paz), 79-97. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2310-02652020000100007&script=sci_abstract&tlng=en

CCBAT. (2008). Centro de Capacitación en Biotecnología Agroalimentaria. Descriptores para la caracterización de colecciones de papa. <https://www.ccbat.es/documentos/descriptores.pdf>.

Centro Internacional de la Papa (CIP). (s.f.). Potato: Facts and figures. <https://cipotato.org/potato/potato-facts-and-figures/>

Chachulska, A. M., Chrzanowska, M., Robaglia, C., & Zagorski, W. (1997). Tobacco vein necrosis determinants are unlikely to be located within the 5' and 3' terminal sequences of the potato virus Y genome. Archives of virology, 142(4), 765-779. <https://doi.org/10.1007/s007050050117>

Cockerham, G. (1943). The reactions of potato varieties to viruses X, A, B and C. Annals of Applied Biology, 30(4), 338-344. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1943.tb06712.x>

Contreras, B., & Contreras, A. (2001). Evaluación del Producto Antiviral Av-100 y Citrol en el Control del Virus Y (PVY) de la Papa. Revista Latinoamericana de la Papa, 12(1), 96-109. <http://repositorio.ucv.cl/handle/10.4151/55052>

De Bokx, JA, y Beemster, ABR (1987). Estudio de propiedades y síntomas en “Virus de la papa y producción de semilla de papa”, 2.ª ed. Por De Bokx, JA y Van der Want, J.P. Pudoc, Wageningen. 259 págs. <https://edepot.wur.nl/468158>

de la Federación, D. O. NORMA Oficial Mexicana NOM-041-FITO-2002, Requisitos y especificaciones fitosanitarios para la producción de material propagativo asexual de papa. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y

Alimentación. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/562801/NOM-041-FITO-2002_040303.pdf

De la Isla de Bauer, M. de L., Ochoa Martínez, D. L., Aranda Ocampo, S., Cristóbal Alejo, J., & Mora Aguilera, G. (2024). *Fitopatología. Volumen I: Conceptos y principios*. Sociedad Mexicana de Fitopatología pdf. Recuperado el 27 de mayo de 2025 <https://smf.org.mx/smf/memoriascongreso/smf24/productos/CongresoSMF/6.%20Publicaciones%20RMF/Libro%20Fitopatolog%C3%ADa%20Vol.%20I/FITOPATOLOG%C3%8DA%20Vol.%20I.pdf>

Díaz, A. M., Arias, L. G., Rute, R. A. P., Latorre, D. A. G., Caballero, B., Sosa, D. F. U., ... & Vargas, Y. G. 2022. Aspectos generales del cultivo de papa en Cundinamarca. en Colección Alianzas agrosavia, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA). <https://www.sidalc.net/search/Record/dig-bac-20.500.12324-37217/Description>.

FAOSTAT, 2006. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Normas internacionales para medidas fitosanitarias pdf. Recuperado el 27 de mayo de 2025, de <https://www.fao.org/4/A0450s/A0450s.pdf>

FAOSTAT. 2023. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Producción mundial de papa. Recuperado el 22 de mayo de 2025 [FAOSTAT](#).

Fu, MR, Zhang, XM, Jin, T., Li, BQ, Zhang, ZQ y Tian, SP (2019). Inhibición del moho gris en pimiento verde y azufaifo de invierno mediante fumigación con dióxido de cloro (ClO₂) y sus mecanismos. *Lwt* , 100 , 335-340 <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.092>.

García, J. P. A., & Franco-Lara, L. 2015. Potato virus Y (PVY) Y Potato yellow vein virus (PYVV) en infecciones mixtas no causan síntomas atípicos en plantas de papa. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 11(2), 26-37. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1297>.

Garrido, M. J. 2018. Generalidades sobre virus de plantas.

- Gergerich, R. C., & Dolja, V. V. (2008, 1 de enero). Introducción a los Virus Vegetales, el Enemigo Invisible. The Plant Health Instructor. APS Education. <https://www.apsnet.org/edcenter/Pages/PlantVirusesEspanol.aspx>
- Giachetto, Gustavo, Pardo, Lorena, Speranza, Noelia, Rodríguez, Andrea, Zunino, Carlos, Notejane, Martín, & Catenaccio, Valentina. 2021. Dióxido de cloro y derivados en la prevención y tratamiento de la COVID-19. Archivos de Pediatría del Uruguay, 92(1), e501. Epub 01 de junio de 2021. <https://doi.org/10.31134/ap.92.1.10>
- Glais, L., Bellstedt, D. U., & Lacomme, C. (2017). Diversity, characterisation and classification of PVY. In Potato virus Y: biodiversity, pathogenicity, epidemiology and management (pp. 43-76). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58860-5_3
- Glais, L., Tribodet, M., & Kerlan, C. (2002). Genomic variability in Potato potyvirus Y (PVY): evidence that PVYNW and PVYNTN variants are single to multiple recombinants between PVYO and PVYN isolates. Archives of virology, 147(2), 363-378. <https://doi.org/10.1007/s705-002-8325-0>
- Glais, L., Tribodet, M., Gauthier, J. P., Astier-Manifacier, S., Robaglia, C., & Kerlan, C. (1998). RFLP mapping of the whole genome of ten viral isolates representative of different biological groups of potato virus Y. Archives of virology, 143(11), 2077-2091. <https://doi.org/10.1007/s007050050445>
- González Pasayo, R. A., & Huarte, M. A. (2011). Efecto del ácido salicílico en la eliminación de PLRV y PVY en plantas de papa. Revista Latinoamericana de la Papa, 16(1), 57–66. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512154>
- González-Franco, A. C., Rodríguez-Rodríguez, M., & Robles-Hernández, L. 2013. Principales virus que afectan al cultivo de papa y metodologías para su identificación y caracterización: Main viruses affecting potato crop and methodologies for their identification and characterization. Tecnociencia Chihuahua, 8(3), 142-151. <https://doi.org/10.54167/tch.v8i3.604>

- González-Garza, Ramiro. (2017). Evolución de técnicas de diagnóstico de virus fitopatógenos. *Revista mexicana de fitopatología*, 35(3), 591-610. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-1>
- Gray, S., De Boer, S., Lorenzen, J., Karasev, A., Whitworth, J., Nolte, P., ... & Xu, H. 2010. Potato virus Y: an evolving concern for potato crops in the United States and Canada. *Plant disease*, 94(12), 1384-1397. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-10-0124>
- Gray, S., De Boer, S., Lorenzen, J., Karasev, A., Whitworth, J., Nolte, P., ... & Xu, H. (2010). Potato virus Y: an evolving concern for potato crops in the United States and Canada. *Plant disease*, 94(12), 1384-1397. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-10-0124>
- Gutiérrez, U. V., Treviño, G. A. F., Ortiz, J. C. D., Uribe, L. A. A., Olivas, A. F., Beache, M. B., & Castillo, F. D. H. (2024). Chlorine Dioxide: Antiviral That Reduces the Spread of ToBRFV in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Plants. *Viruses*, 16(10), 1510. <https://doi.org/10.3390/v16101510>.
- Harrington, R., & Gibson, R. W. (1989). Transmission of potato virus Y by aphids trapped in potato crops in southern England. *Potato Research*, 32(2), 167-174. <https://doi.org/10.1007/BF02358229>
- Harrington, R., Katis, N., & Gibson, R. W. (1986). Field assessment of the relative importance of different aphid species in the transmission of potato virus Y. *Potato Research*, 29(1), 67-76. <https://doi.org/10.1007/BF02361982>
- Hawkes, J. G. (1990). The potato: evolution, biodiversity and genetic resources (pp. viii+-259). <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19901615687>
- Henao-Díaz, Emanuela, Gutiérrez-Sánchez, Pablo, & Marín-Montoya, Mauricio. (2013). Análisis Filogenético De Aislamientos Del Potato Virus Y (Pvy) Obtenidos En Cultivos De Papa (*Solanum Tuberosum*) Y Tomate De Árbol (*Solanum Betaceum*) En Colombia. *Actualidades Biológicas*, 35(99), 219-232. Recuperado en 23 de mayo de 2025, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-35842013000200008&lng=en&tlng=es.

- Hernández-de la Cruz, M., Gómez-Leyva, J. F., López-Muraira, I. G., Dimas-Estrada, M. S., Andrade-González, I., & Ireta-Moreno, J. (2007). Serological and molecular detection of virus PVYN and its variant PVYNTN in potato (*Solanum tuberosum* L.) and alternate hosts in Tapalpa, Mexico. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018533092007000200011&script=sci_abstract&tlng=en
- Hernández-de la Cruz, Miguel, Gómez-Leyva, Juan Florencio, López-Muraira, Irma Guadalupe, Dimas-Estrada, María Susana, Andrade-González, Isaac, & Ireta-Moreno, Javier. (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. Recuperado en 27 de septiembre de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092007000200011&lng=es&tlng=
- Hijmans, R. J., & Spooner, D. M. (2001). Geographic distribution of wild potato species. *American journal of Botany*, 88(11), 2101-2112. <https://doi.org/10.2307/3558435>
- ICTV. 2022. International Committee on Taxonomy of Viruses. Master Species List. <https://ictv.global/report/chapter/potyviridae/potyviridae/potyvirus>.
- Jeon, Y., Jung, J., Kim, W., Kim, Y., Kumar, S., Cheon, W., ... & Kwon, H. (2016). Anticancer and antiviral activity of chlorine dioxide by its induction of the reactive oxygen species. *J Appl Biol Chem*, 59(1), 31-36. <https://scholar.korea.ac.kr/handle/2021.sw.korea/91357>
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1990.tb04198.x>
- Kim, Y., Kumar, S., Cheon, W., Eo, H., Kwon, H., Jeon, Y., ... & Kim, W. (2016). Anticancer and antiviral activity of chlorine dioxide by its induction of the reactive oxygen species. *Journal of Applied Biological Chemistry*, 59(1), 31-36. <https://koreascience.kr/article/JAKO201611639306040.page>

- Kirchner, S. M., Hiltunen, L. H., Santala, J., Döring, T. F., Ketola, J., Kankaala, A., ... & Valkonen, J. P. T. 2014. Comparison of straw mulch, insecticides, mineral oil, and birch extract for control of transmission of Potato virus Y in seed potato crops. *Potato research*, 57, 59-75. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11540-014-9254-4>
- Lacomme, C., & Jacquot, E. 2017. General characteristics of Potato Virus Y (PVY) and its impact on potato production: an overview. *Potato virus Y: biodiversity, pathogenicity, epidemiology and management*, 1-19. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-58860-5_1
- Le Romancer MI, C. Kerlan and M. Nédellec, 1994. Biological characterization of various geographical isolates of potato virus Y inducing superficial necrosis on potato tubers. *Plant Pathology* 43: 138. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.1994.tb00563.x>
- Luna, R. A. Z. (2016). Efecto del aumento de temperatura en escenarios climáticos del sur de Chile, sobre el rendimiento y calidad de 5 genotipos de papa (Tesis Doctoral. Universidad Austral de Chile). <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2016/faz.24e/doc/faz.24e.pdf>
- Machado-Assefh, CR, Said-Adamo, MDM, Cortéz, SD, Gialdi, AIL, Isasmendi, GL, Ortego, J., y Alvarez, AE (2023). Asociaciones planta-áfido recientemente registradas: Implicaciones para el control de PLRV y PVY en cultivos de papa. *Crop Protección*, 167 , 106202. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2023.106202>
- Martin, J. (2010, 4 de octubre). ¡Papas desenterradas! La exposición desentierra la historia de la patata [Blog]. Instituto Nacional de Alimentación y Agricultura (REE, USDA), Jardín Botánico de Estados Unidos. <https://www.usda.gov/about-usda/news/blog/spuds-unearthed-exhibit-digs-history-potato#:~:text=The%20crop%20originated%20in%20the,around%20the%20world%20from%20starvation.>
- Martínez López, G. 2018. Enfermedades causadas por virus en el cultivo de la papa. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/23452>
- McDonald, J. G., & Singh, R. P. (1996). Host range, symptomology, and serology of isolates of Potato virus Y (PVY) that share properties with both the PVYN and PVYO strain

- groups. American Potato Journal, 73(7), 309-315.
<https://doi.org/10.1007/BF02855210>
- Mesa Medina, Mauricio, González Ramírez, Martha, Gutiérrez Sánchez, Pablo, & Marín Montoya, Mauricio. (2016). Diagnóstico serológico y molecular del Potato leafroll virus (PLRV) en tubérculos-semilla de papa en Antioquia, Colombia. *Acta Agronómica*, 65(2), 204-210. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28122016000200015&script=sci_arttext
- Molina Cedeño, P. A. (2021). Comparación de los factores internos que inciden en el metabolismo del CO₂ en plantas C₃ y C₄ (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021). <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9293>.
- Montaño Icedo, Mónica Lizeth. (2023). ¿Virus o bacteria? esa es la cuestión. *Epistemos* (Sonora), 17(34), 92-98. Epub 08 de diciembre de 2023. <https://doi.org/10.36790/epistemos.v17i34.270>
- Nanayakkara, U. N., Giguère, M. A., & Pelletier, Y. 2013. Population growth of *Myzus persicae* on potato plants infected with different strains and variants of potato virus Y. *American journal of potato research*, 90, 297-300. <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9284-x>.
- 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. [https://doi.org/10.1016/S0166-0934\(02\)00037-X](https://doi.org/10.1016/S0166-0934(02)00037-X)
- Nie, X., & Singh, R. P. (2003). Specific differentiation of recombinant PVYN: O and PVYNTN isolates by multiplex RT-PCR. *Journal of Virological Methods*, 113(2), 69-77. [https://doi.org/10.1016/S0166-0934\(03\)00221-0](https://doi.org/10.1016/S0166-0934(03)00221-0)
- Noha, K., Bondok, A. M., & El-DougDoug, K. A. (2018). Evaluation of silver nanoparticles as antiviral agent against ToMV and PVY in tomato plants. *Sciences*, 8(01), 100-111. <https://www.curreweb.com/mejas/mejas/2018/100-111.pdf>

- Ogata, N. (2007). Denaturation of protein by chlorine dioxide: oxidative modification of tryptophan and tyrosine residues. *Biochemistry*, 46(16), 4898-4911. <https://doi.org/10.1021/bi061827u>.
- Quintero, I, Montero, F, Zambrano, J, Meza, N, Maffei, M, Valera, A, & Alvarez, R. 2009. Evaluación de once clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el estado Trujillo. I Crecimiento, desarrollo y rendimiento. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 26(3), 362-381. Recuperado en 23 de mayo de 2025, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182009000300004&lng=es&tlng=es.
- Quintero-Ferrer, A., & Karasev, A. V. (2013). First report of recombinant Potato virus Y strains in potato in Jalisco, Mexico. *Plant disease*, 97(3), 430-430. <https://doi.org/10.1094/PDIS-10-12-0919-PDN>
- 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), 48. <https://doi.org/10.1186/1743-422X-6-48>
- Revers, F., Le Gall, O., Candresse, T., Le Romancer, M., & Dunez, J. (1996). Frequent occurrence of recombinant potyvirus isolates. *Journal of General Virology*, 77(8), 1953-1965. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-77-8-1953>
- Rodríguez, Luis Ernesto. (2009). Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum* L. sect. *Petota* Dumort.). Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27 (3), 305-312. Recuperado el 22 de mayo de 2025 de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652009000300003&lng=en&tlng=es.
- Rodríguez, Luis Ernesto. 2010. Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9-17. Recuperado el 22 de mayo de 2025 http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652010000100002&lng=en&tlng=es.

- Santiago-Meza, Joel de, Frías-Treviño, Gustavo Alberto, Aguirre-Uribe, Luis Alberto, & Flores-Olivas, Alberto. (2025). Estimation of losses caused by Potato virus Y in potato crop in Coahuila. *Revista mexicana de fitopatología*, 43(1), RMEXFIT24042. Epub 27 de maio de 2025. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2404-2>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2023). Panorama Agroalimentario: Papa. Gobierno de México. <https://panorama.agricultura.gob.mx/vista/productos.php>
- SIAP. 2025. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado el 9 de Septiembre de 2025, de <https://nube.agricultura.gob.mx/agroprograma/>
- Singh, R. P., McLaren, D. L., Nie, X., & Singh, M. (2003). Possible escape of a recombinant isolate of Potato virus Y by serological indexing and methods of its detection. *Plant Disease*, 87(6), 679-685. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.6.679>
- Spooner, D. M., McLean, K., Ramsay, G., Waugh, R., & Bryan, G. J. (2005). A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. *proceedings of the national academy of sciences*, 102(41), 14694-14699. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507400102>
- Spooner, D. M., Nunez, J., Trujillo, G., del Rosario Herrera, M., Guzmán, F., & Ghislain, M. (2007). Extensive simple sequence repeat genotyping of potato landraces supports a major reevaluation of their gene pool structure and classification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(49), 19398-19403. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709796104>
- Tzanetakis, I. E., Aknadibossian, V., Špak, J., Constable, F., Harper, S. J., Hammond, J., ... & Škorić, D. (2025). Streamlining global germplasm exchange: integrating scientific rigor and common sense to exclude phantom agents from regulation. *Plant disease*, 109(4), 736-755. <https://doi.org/10.1094/PDIS-04-24-0745-FE>
- Valkonen, J. P. T. (1997). Novel resistances to four potyviruses in tuber-bearing potato species, and temperature-sensitive expression of hypersensitive resistance to potato virus Y. *Annals of Applied biology*, 130(1), 91-104. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1997.tb05785.x>

- Vasquez Gutierrez, U., López López, H., Frías Treviño, G. A., Delgado Ortiz, J. C., Flores Olivas, A., Aguirre Uribe, L. A., & Hernández Juárez, A. (2024). Biological Exploration and Physicochemical Characteristics of Tomato Brown Rugose Fruit Virus in Several Host Crops. *Agronomy*, 14(2), 388. <https://doi.org/10.3390/agronomy14020388>
- Vásquez, G. U., Delgado-Ortiz, J. C., Frías-Treviño, G. A., Aguirre-Uribe, L. A., & Flores-Olivas, A. (2025). Tobamovirus fructirugosum an emerging disease: review and current situation in Mexico. *Mexican Journal of Phytopathology*, 43(1), 34. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2401-7>
- Vásquez-Gutiérrez, U., Frías-Treviño, G. A., López-López, H., Delgado-Ortiz, J. C., Aguirre-Uribe, L. A., & Flores-Olivas, A. (2024). Evaluation of the Pathogenicity of Three Isolates of Tomato brown rugose fruit virus in tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) from Coahuila, Mexico. *Rev. Bio Cienc*, 11, e1576. <https://doi.org/10.15741/revbio.11.e1576>
- Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., Taylor, M. A., MacKerron, D. K., & Ross, H. A. (Eds.). (2011). *Potato biology and biotechnology: advances and perspectives*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=H9WWTORVS9kC&oi=fnd&pg=PP1&dq=+Potato+biology+and+biotechnology:+Advances+and+perspectives.+Elsevier.+&ots=3Y12jTrGiB&sig=DRElBjdR120zwtwMXMq5lhyGt3c#v=onepage&q=Potato%20biology%20and%20biotechnology%3A%20Advances%20and%20perspectives.%20Elsevier.&f=false>