

Seminarios virtuales “BPA-CI en sistemas agroalimentarios andinos basados en papa”.

Papa, Familia y Clima

Proyecto Regional

Webinar 5.

Manejo Integrado del
Tizón tardío de la papa

2021

Modulo 2

Prácticas y tecnologías de agricultura climáticamente
inteligentes para la producción de papa

Este proyecto forma parte de



Financiado por
la Unión Europea

Agencias implementadoras



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Entidades solicitantes





¿Es la base del manejo integrado del tizón tardío el uso de cultivares resistentes complementada con el uso racional de fungicidas?

Willmer Pérez
Centro Internacional de la Papa

Lima, mayo 2021

Este proyecto forma parte de



Financiado por
la Unión Europea

Agencias implementadoras



giz

Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Entidades solicitantes



CIP
CENTRO
INTERNACIONAL
DE LA PAPA





Contenido

I.	Introducción	4
II.	Argumento de tesis	4
III.	Conclusión	8
IV.	Referencias Bibliográficas	8

DOCUMENTO DE DEBATE

Este proyecto forma parte de



Financiado por
la Unión Europea

Agencias implementadoras



giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Entidades solicitantes



CIP
CENTRO
INTERNACIONAL
DE LA PAPA





I. Introducción

El **tizón tardío**, causado por el oomiceto *Phytophthora infestans*, continúa siendo la principal enfermedad que afecta el cultivo de papa a nivel mundial. En Europa las pérdidas económicas ocasionadas por esta enfermedad fueron estimadas en aproximadamente 6.1 billones de Euros y en países en desarrollo cerca de 2, 750 millones de dólares. Sin embargo, el ataque de esta enfermedad significa en muchos países inseguridad alimentaria por la destrucción total de los cultivos de papa, al que se debe añadir el impacto negativo que ocasiona el excesivo e irracional uso de fungicidas en la salud humana y el medioambiente. Debido al cambio climático, el tizón tardío se está convirtiendo en una amenaza importante en las zonas de producción ubicadas a mayor altitud, lo que está obligando a los agricultores a entrar en zonas como páramos y punas en los Andes, afectando en forma directa los reservorios de carbono orgánico del suelo.

Desde hace tres décadas es común los reportes de la aparición de genotipos más agresivos del patógeno, resistentes a fungicidas sistémicos y con mayor virulencia que ha ocasionado cambios en las estrategias de manejo de la enfermedad. La resistencia genética de algunas cultivares de papa ha sido superada rápidamente por los nuevos genotipos produciendo miles de soles en pérdidas económicas.

Actualmente se están desarrollando nuevas soluciones para el manejo del tizón tardío como el uso de sistemas de apoyo a la toma de decisiones, promoción de cultivares con mayor resistencia, uso de nuevas moléculas de fungicidas menos tóxicas, kits portátiles de diagnóstico molecular y monitoreo de poblaciones del patógeno.

II. Argumento de tesis

¿Qué sabemos de la enfermedad?

El tizón tardío es considerado como la enfermedad más importante del cultivo de papa a nivel mundial (Adolf et al. 2020). En países europeos se ha reportado pérdidas anuales causadas por esta enfermedad en cerca de €6.1 billones (Haverkort et al. 2008), en Estados Unidos de Norteamérica en aproximadamente \$3.5 billones (Nowicki et al. 2012) y en países en desarrollo US\$ 2,750 millones (<http://cipotato.org/potato/>). En Perú, en campos de papas nativas cultivadas a 4090 m.s.n.m. se reportó pérdidas del rendimiento en un rango del 50% al 100% (Perez et al. 2015), lo cual es un riesgo para la seguridad alimentaria y la biodiversidad especialmente en áreas donde la enfermedad no había sido reportada o tenía baja incidencia y/o severidad (Lindqvist-Kreuze et al. 2020). Similares rangos de pérdidas en rendimiento fueron reportadas en Ecuador (Andrade-Piedra, 1997) y Bolivia (Donaire and Garcia 2006).

¿Qué sabemos del patógeno?

Debido a un mejor entendimiento de las relaciones evolutivas entre microorganismos, *P. infestans* Mont. de Bary., antes clasificado como hongo ahora es clasificado como oomiceto en el reino stramenopila (Kamoun et al. 2015). Existen muchas características que distinguen a los oomicetos de los hongos: micelio sin septas (cenocítico), pared celular compuesta de β -1,3 y β -1,6 glucanos y no de quitina (el polímero de N-acetil glucosamina, que se encuentra en las paredes de los hongos



verdaderos). El micelio de *P. infestans* es diploide, mientras que en los hongos verdaderos es haploide. Sin embargo, investigaciones recientes han demostrado que en actuales poblaciones sexuales de *P. infestans* son diploides y triploides (Li et al. 2017).

Las herramientas modernas de caracterización genética han revelado que las migraciones han sido una característica dominante de la biología poblacional de este patógeno durante los últimos 50 años y tal vez durante los últimos 170 años (W. E. Fry 2016). La diversidad genética generada por la reproducción sexual ha generado genotipos más agresivos, con virulencia compleja y resistencia a fungicidas sistémicos (Adolf et al. 2020 ;Wang et al. 2020).

¿Qué cultivares de papa resistentes están disponibles?

Se ha reportado dos tipos de resistencia al tizón tardío: cualitativo y cuantitativo. Fenotípicamente, la resistencia cualitativa evita que el patógeno cause cualquier infección, mientras que la resistencia cuantitativa permite que el patógeno infecte a la planta huésped, pero el progreso de la enfermedad es lento. A nivel de genotipo, la diferencia entre las resistencias no es tan clara y, por lo tanto, está más discutida (Lotta 2015). Se sabe que los genes mayores o genes R son superados rápidamente por este oomiceto y el uso de cultivares resistentes ha tenido un éxito limitado a nivel mundial. La escasa difusión y adopción de cultivares, vencimiento de la resistencia por genotipos con virulencia compleja, preferencias de mercado, problemas metodológicos para caracterizar la resistencia, son expuestos como problemas para argumentar el poco éxito del uso de cultivares resistentes (Forbes 2012).

El Centro Internacional de la Papa (CIP) desarrolló la población de mejoramiento denominada B3 con resistencia duradera a *P. infestans*, cuyos clones avanzados han demostrado gran potencial de resistencia en los diversos programas de mejoramiento según Namugga (2018), Olanya, Ojiambo, y Nyankanga (2006). Esta población es considerada libre de genes R (Landeo et al. 2001; Lotta 2015), sin embargo, Lotta (2015) sugirió que la población B3 tiene genotipos con resistencia estable y extrema posiblemente debida a algunos genes R aún no identificados.

Debido a la constante aparición de genotipos de *P. infestans* altamente complejos, se ha señalado que la modificación genética (transgénesis y cisgénesis) se constituye en un método eficaz para crear una población de cultivares de papa resistentes a esta enfermedad (Xin, Li, and Guo 2012). “Sarpomir” es un cultivar en el que se ha efectuado la piramidación de 4 genes R y un gen menor asociado con resistencia de campo (Rietman et al. 2012). Trece eventos transgénicos con 3 genes R [RB, Rpi-blb2 de *Solanum bulbocastanum* y Rpi-vnt1.1 de *S. venturii*] piramidados en las variedades “Desiree” y “Victoria” produjeron resistencia completa a la enfermedad bajo condiciones de campo en el África subsahariana (Ghislain et al. 2019). Sin embargo, la estrategia de usar cultivares resistentes con genes piramidados debe ser complementado con otras prácticas de manejo de la enfermedad (Stam and McDonald 2018) .

En una encuesta realizada a agricultores en Bélgica, se determinó que el 54,7% de ellos tenían la intención de adoptar papa transgénica si estuviera disponible. Sin embargo, la voluntad de los agricultores de adoptar está influenciada principalmente por preocupaciones éticas sobre los organismos genéticamente modificados (OGM) (negativo) y los beneficios económicos percibidos de las papas transgénicas resistentes al tizón tardío (positivo)(De Steur et al. 2019).



¿Cuál es el método de control del tizón tardío usado por los agricultores?

Un estudio de línea de base realizado entre agricultores de Perú, Bolivia, Ecuador, y Uganda demostró que todos los agricultores usaban fungicidas como principal medida de control de la enfermedad. Sin embargo, la mayoría de los agricultores no sabía la diferencia entre fungicidas de contacto y sistémicos y ellos realizaban aplicaciones de fungicidas según su propia experiencia. También se demostró que el uso de los fungicidas estaba relacionado al nivel de educación de los agricultores, edad, tamaño de sus parcelas, fecha de siembra pero no con la susceptibilidad de las variedades de papa (O. Ortiz et al. 1999). Una encuesta realizada en Kenia demostró que el 98% de los agricultores no conocía otro método de control del tizón tardío que la aplicación de fungicidas. La mayoría de ellos usaba mancozeb y metalaxyl, sin embargo, el alto costo de los fungicidas, técnicas ineficientes de aplicación, y preferencia por cultivares susceptibles contribuían al inadecuado manejo de la enfermedad (Nyankanga et al. 2004).

Un punto importante a tener en cuenta es el alto riesgo para la salud humana la aplicación irracional y excesiva de plaguicidas en los países en desarrollo, donde los agricultores generalmente no usan implementos de protección personal (Oscar Ortiz, Thiele, and Forbes 2003; Yanggen et al. 2003; Cole, Ojdonald, and Sherwood 2008; Orozco 2009).

¿Qué estrategias de control químico para controlar el tizón tardío están disponibles?

Actualmente el manejo de la enfermedad se ha hecho más complicado debido a la introducción y posterior migración global de genotipos de *P. infestans* que tienen una mayor resistencia a los fungicidas (Hannukkala et al. 2007; Fry 2008). La resistencia a metalaxy fue reportado en la mayoría de regiones productoras de papa a nivel mundial (Gisi and Cohen 1996; W. E. Fry et al. 2009; Lal et al. 2018; Pérez, Lara, and Forbes 2009). La eficacia reducida de fluazinam para controlar genotipos específicos de *P. infestans* fue reportada en los Países Bajos (Schepers et al. 2018) y para el genotipo 37_A2 en el Reino Unido (<https://cropscience.bayer.co.uk/blog/articles/2019/05/new-blight-strains/#cookie-preferences>). Se reportó que la tolerancia de *P. infestans* a azoxystrobin resultó ser un proceso fisiológico gobernado por la plasticidad fenotípica a través de los cambios en la expresión de un gen y/o la actividad metabólica del patógeno (Lurwanu et al. 2020). En el manejo del tizón tardío, es importante elegir el fungicida basado en las características y propiedades del ingrediente activo presión de la enfermedad y la fase de crecimiento. Una lista de fungicidas actualizada de grupos de fungicidas, ingredientes activos, riesgos de resistencia, movilidad en la planta, y uso apropiado es publicado por la FRAG-UK (2018). Las estrategias de aplicación de fungicidas deben tener en cuenta el manejo de resistencia como limitar el número de aplicaciones de fungicidas de alto riesgo, alternarse aplicaciones de fungicidas de alto riesgo con otros de bajo riesgo, incluyendo el uso de fungicidas con diferente modo de acción. Debe integrarse otras prácticas de manejo integrado diferentes a las del uso de fungicidas para impedir el desarrollo de la enfermedad (Perez and Forbes 2008).

El control del tizón tardío con fosfonatos fue relativamente estable en experimentos de campo analizados mediante un metaanálisis. El estudio indicó que proporciones de fosfonato de aproximadamente 2,5 g a.i./lit tuvo eficacia similar a la de los fungicidas de contacto convencionales mancozeb y clorotalonil utilizados en proporciones similares. A tasas superiores a 2,5 g i.a./litro, la eficacia del fosfonato fue superior a la del contacto fungicidas (Kromann et al. 2012). Estudios realizados en Perú demostraron que es posible manejar el tizón tardío de una manera amigable con



el medioambiente utilizando inductores de resistencia, incluso en cultivares susceptibles durante épocas de mayor presión de la enfermedad (Sanabria, Pérez, and Andrade-Piedra 2020)

¿Qué se propone para el manejo integrado del tizón tardío?

La resistencia de los cultivares de papa es la principal estrategia del manejo del tizón tardío y probablemente se utilice más en los países en desarrollo que en los industrializados (Forbes and Jarvis 1994). En las condiciones actuales, el crecimiento poblacional y la necesidad de producir más alimentos requerirá una inversión continua en el mejoramiento genético y esfuerzos similares en la promoción y difusión de variedades liberadas (Pradel et al. 2019; Pradel, W., Hareau, G., Quintanilla, L., Suárez, V 2017).

El uso de fungicidas es la medida más utilizada para el control del tizón tardío, sin embargo, la optimización de su uso es indispensable para producir un cultivo saludable con el menor impacto en el medio ambiente y la salud humana. La optimización incluye algunas decisiones a ser tomadas antes de la aplicación, como la selección de un fungicida apropiado, dosis adecuadas y tecnologías apropiadas de aplicación. Una vez que se han tomado estas decisiones, el mayor desafío que enfrentan los agricultores en los países en desarrollo es establecer los tiempos adecuados de aplicación de estos productos (Forbes et al. 2008).

Las mezclas de cultivares pueden reducir la severidad del tizón tardío de la papa en cultivares susceptibles, cuando se alternan surcos sembrados con cultivares susceptibles y resistentes en lugar de mezclas aleatorias especialmente cuando la presión de la enfermedad es alta (Pilet et al. 2006). El uso de fungicidas en combinación con mezclas de cultivares de papa también ayuda a reducir el tizón tardío, a diferencia de cultivar en forma asociada papa y haba que solo produjeron una pequeña disminución de la enfermedad (Garrett et al. 2001).

Durante la época de cultivo, se puede reducir la diseminación de la enfermedad usando semilla sana, extrayendo las plantas voluntarias infectadas, aporcando con volúmenes convenientes de tierra y utilizando métodos apropiados de cosecha y almacenamiento. A menudo, una mayor densidad de siembra da como resultado niveles altos de enfermedad. Debe evitarse el uso de un exceso de nitrógeno, puesto que este elemento puede beneficiar al patógeno (Garrett and Dendy 2001). Los agricultores en los países en desarrollo han aprendido a reducir el inóculo inicial por sembrar en localidades y épocas en los que pueden evitar alta presión de la enfermedad (Thurston 1990).

El uso de umbrales acumulados de lluvia como criterio para la aplicación de fungicidas para manejar el tizón tardío puede ser un componente exitoso cuando se incluyen cultivares con niveles moderados o altos de resistencia (Kromann et al. 2009).

El CIP ha desarrollado un sistema de apoyo a la toma de decisiones simple puede ayudar a los agricultores a manejar el tizón tardío. En experimentos de validación, estas herramientas proporcionaron un control relativamente bueno de la enfermedad comparado con las estrategias locales de control y con otros sistemas de apoyo a la toma de decisiones, sin embargo, fue más eficaz con cultivares altamente susceptibles. También propicio igual o menor número de



aplicaciones de fungicidas por campaña agrícola y tuvo un menor impacto ambiental que las prácticas locales (Willmer Pérez et al. 2020).

III. Conclusión

El manejo del tizón tardío requiere una acción colectiva de agricultores comerciales, de agricultura familiar, agricultura orgánica, fabricantes y proveedores de fungicidas y equipos; agencias gubernamentales y no gubernamentales, especialistas en extensión y consultores de cultivos, los cuales DEBEN adoptar el manejo integrado. La capacitación de los agricultores debe ser la base para lograr un buen manejo de la enfermedad. El uso de variedades resistentes debe ser la primera línea de defensa y solo los fungicidas deben ser usados dentro de una estrategia de manejo integrado. Las prácticas culturales, los sistemas de pronóstico de la enfermedad y monitoreo de poblaciones son esenciales para lograr un adecuado desarrollo del cultivo disminuyendo la incidencia y severidad de la enfermedad.

IV. Referencias Bibliográficas

- Adolf, Birgit, Jorge Andrade-Piedra, Francisco Bittara Molina, Jaroslaw Przetakiewicz, Hans Hausladen, Peter Kromann, Alison Lees, Hannele Lindqvist-Kreuze, Willmer Perez, and Gary A. Secor. 2020. "Fungal, Oomycete, and Plasmodiophorid Diseases of Potato." In *The Potato Crop*, edited by Hugo Campos and Oscar Ortiz, 307–50. Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5_9.
- Andrade-Piedra Naranjo. 1997. "Determinación de problemas fitosanitarios del cultivo de papa en Ecuador." In *Implementación de Programas de Manejo Integrado de Plagas del Cultivo de Papa en Áreas Específicas de la Región Andina*. Quito (Ecuador): DNPV - SVTT/C-NAT/C - PRNT-PAPA. https://nexus1019hx1xmtstxk3k9sko-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/MIP_manual.pdf.
- Cole, M., C. Ojstonald, and M. Sherwood. 2008. "Reducing Pesticide Exposure and Associated Neurotoxic Burden in an Ecuadorian Small Farm Population." *International Journal of Occupational and Environmental Health* 13 (3).
- De Steur, Hans, Ellen J. Van Loo, Jasmien Maes, Godelieve Gheysen, and Wim Verbeke. 2019. "Farmers' Willingness to Adopt Late Blight-Resistant Genetically Modified Potatoes." *Agronomy* 9 (6): 280. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060280>.
- Donaire, R., and W. García. 2006. "Alternativa Agroecológica Para El Control Del Tizón Tardío, Phytophthora Infestans, de La Papa En Coloma - Bolivia." *Acta Nova*, no. 3. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892006000200009.
- Forbes, G. A. 2012. "Using Host Resistance to Manage Potato Late Blight with Particular Reference to Developing Countries." *Potato Research* 55 (3–4): 205–16. <https://doi.org/10.1007/s11540-012-9222-9>.
- Forbes, G. A., N. J. Grünwald, E. S. G. Mizubuti, J. L. Andrade-Piedra, and K. A. Garrett. 2008. "Potato Late Blight in Developing Countries." http://www.researchgate.net/publication/239921301_Potato_Late_Blight_in_Developing_Countries/file/504635282c871a38c2.pdf.
- Forbes, G. A., and M. C. Jarvis. 1994. "Host Resistance for Management of Potato Late Blight." In *Advances in Potato Pest Biology and Management*, edited by G. Zehnder, R. Jansson, and K. V. Raman, 439–57. St. Paul, Minnesota: American Phytopathological Society.
- FRAG-UK. 2018. "Fungicide Resistance Management in Potato Late Management in Potato Late Management in Potato Late Blight," May 2018.
- Fry, W. 2008. "Phytophthora Infestans: The Plant (and R Gene) Destroyer." *Mol Plant Pathol* 9. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00465.x>.
- Fry, William E. 2016. "Phytophthora Infestans: New Tools (and Old Ones) Lead to New Understanding and Precision Management." *Annual Review of Phytopathology* 54 (1): 529–47. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080615-095951>.
- Fry, William E., Niklaus J. Grünwald, David E. L. Cooke, Adele McLeod, Gregory A. Forbes, and Keqiang Cao. 2009. "Population Genetics and Population Diversity of Phytophthora Infestans." In *Oomycete Genetics and Genomics*:

- Diversity, Interactions and Research Tools*, edited by Kurt Lamour and Sophien Kamoun, 139–64. John Wiley & Sons, Inc. <http://dx.doi.org/10.1002/9780470475898.ch7>.
- Garrett, K. A., and S. P. Dendy. 2001. "Cultural Practices in Potato Late Blight Management." In *Complementing Resistance to Late Blight in the Andes, 13-16 February 2001*. Cochabamba, Bolivia: International Potato Center.
- Garrett, K. A., R. J. Nelson, C. C. Mundt, G. Chacón, R. E. Jaramillo, and G. A. Forbes. 2001. "The Effects of Host Diversity and Other Management Components on Epidemics of Potato Late Blight in the Humid Highland Tropics." *Phytopathology* 91 (10): 993–1000.
- Ghislain, Marc, Arinaitwe Abel Byarugaba, Eric Magembe, Anne Njoroge, Cristina Rivera, María Lupe Román, José Carlos Tovar, et al. 2019. "Stacking Three Late Blight Resistance Genes from Wild Species Directly into African Highland Potato Varieties Confers Complete Field Resistance to Local Blight Races." *Plant Biotechnology Journal* 17 (6): 1119–29. <https://doi.org/10.1111/pbi.13042>.
- Gisi, U., and Y. Cohen. 1996. "Resistance to Phenylamide Fungicides: A Case Study with *Phytophthora Infestans* Involving Mating Type and Race Structure." *Annual Review of Phytopathology* 34: 549–72.
- Hannukkala, A. O., T. Kaukoranta, A. Lehtinen, and A. Rahkonen. 2007. "Late-Blight Epidemics on Potato in Finland, 1933–2002; Increased and Earlier Occurrence of Epidemics Associated with Climate Change and Lack of Rotation." *Plant Pathology* 56 (1): 167–76.
- Haverkort, A. J., P. M. Boonekamp, R. Hutten, E. Jacobsen, L. A. P. Lotz, G. J. T. Kessel, R. G. F. Visser, and E. A. G. Vossen. 2008. "Societal Costs of Late Blight in Potato and Prospects of Durable Resistance Through Cisgenic Modification." *Potato Research* 51 (1): 47–57. <https://doi.org/10.1007/s11540-008-9089-y>.
- Kamoun, Sophien, Oliver Furzer, Jonathan D. G. Jones, Howard S. Judelson, Gul Shad Ali, Ronaldo J. D. Dalio, Sanjoy Guha Roy, et al. 2015. "The Top 10 Oomycete Pathogens in Molecular Plant Pathology: Top 10 Oomycete Plant Pathogens." *Molecular Plant Pathology* 16 (4): 413–34. <https://doi.org/10.1111/mpp.12190>.
- Kromann, Peter, Willmer G. Pérez, Arturo Taipe, Elmar Schulte-Geldermann, Buddhi Prakash Sharma, Jorge L. Andrade-Piedra, and Gregory A. Forbes. 2012. "Use of Phosphonate to Manage Foliar Potato Late Blight in Developing Countries." *Plant Disease* 96 (7): 1008–15. <https://doi.org/10.1094/PDIS-12-11-1029-RE>.
- Kromann, Peter, Arturo Taipe, Willmer G. Perez, and Gregory A. Forbes. 2009. "Rainfall Thresholds as Support for Timing Fungicide Applications in the Control of Potato Late Blight in Ecuador and Peru." *Plant Disease* 93 (2): 142–48. <https://doi.org/doi:10.1094/PDIS-93-2-0142>.
- Lal, Mehi, Sanjeev Sharma, Saurabh Yadav, and Santosh Kumar. 2018. "Management of Late Blight of Potato." In *Potato - From Incas to All Over the World*, edited by Mustafa Yildiz. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72472>.
- Landeo, J. A., M. Gastelo, G. Beltran, and L. Diaz. 2001. "Quantifying Genetic Variance for Horizontal Resistance to Late Blight in Potato Breeding Population B3C1." In *Scientist and Farmer: Partners in Research for the 21st Century. Program Report 1999-2000*, 63–68. Lima: International Potato Center (Centro Internacional de la Papa) (CIP). http://search.cnet.com/search97cgi/s97_cgi.exe?action=view&VdkVgwKey=data%2F2001processed%2Fcab200112.txt__%5B13139%5D&ViewTemplate=CABView.fts&ViewSingle=Y.
- Li, Ying, He Shen, Qian Zhou, Kun Qian, Theo van der Lee, and Sanwen Huang. 2017. "Changing Ploidy as a Strategy: The Irish Potato Famine Pathogen Shifts Ploidy in Relation to Its Sexuality." *Molecular Plant-Microbe Interactions* 30 (1): 45–52. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-16-0156-R>.
- Lindqvist-Kreuzer, H., S. Gamboa, M. Izarra, W. Pérez, M. Y. Correa, A. Astete, T. Särkinen, M. Cueva, and P. Gonzáles. 2020. "Population Structure and Host Range of the Potato Late Blight Pathogen *Phytophthora Infestans* in Peru Spanning Two Decades." *Plant Pathology* 69 (2): 334–46. <https://doi.org/10.1111/ppa.13125>.
- Lotta, Kaila. 2015. "Inheritance and Stability of Late Blight Resistance in Potato Population B3 of the International Potato Center." Helsinki, Finland: University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry, Department of Agricultural Sciences. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-201509013571>.
- Lurwanu, Yahuza, Yan-Ping Wang, Waheed Abdul, Jiasui Zhan, and Li-Na Yang. 2020. "Temperature-Mediated Plasticity Regulates the Adaptation of *Phytophthora Infestans* to Azoxystrobin Fungicide." *Sustainability* 12 (3): 1188. <https://doi.org/10.3390/su12031188>.
- Namugga, Prossy, Julia Sibiya, Rob Melis, and Alex Barekye. 2018. "Yield Response of Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Genotypes to Late Blight Caused by *Phytophthora Infestans* in Uganda." *American Journal of Potato Research* 95 (4): 423–34. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-9642-4>.
- Nowicki, M., M. R. Foolad, M. Nowakowska, and E. U. Kozik. 2012. "Potato and Tomato Late Blight Caused by *Phytophthora Infestans*: An Overview of Pathology and Resistance Breeding." *Plant Disease* 96 (1): 4–17.
- Nyankanga, Ro, Hc Wien, Om Olanya, and Ps Ojiambo. 2004. "Farmers' Cultural Practices and Management of Potato Late Blight in Kenya Highlands: Implications for Development of Integrated Disease Management." *International Journal of Pest Management* 50 (2): 135–44. <https://doi.org/10.1080/09670870410001691812>.

- Olanya, O. M., P. S. Ojiambo, and R. O. Nyankanga. 2006. "Dynamics of Development of Late Blight *Phytophthora Infestans* in Potato, and Comparative Resistance of Cultivars in the Highland Tropics." *Canadian Journal of Plant Pathology* 28 (1): 84–94.
- Orozco, F.A.Cole. 2009. "Monitoring Adherence to the International Code of Conduct: Highly Hazardous Pesticides in Central Andean Agriculture and Farmers' Rights to Health." *International Journal of Occupational and Environmental Health* 15 (3): 255–68.
- Ortiz, O., P. Winter, H. Fano, G. Thiele, S. Guaman, R. Torres, V. Barrera, J. Unda, and J. Hakiza. 1999. "Understanding Farmers' Responses to Late Blight: Evidence from Peru, Bolivia, Ecuador, and Uganda." In *Impact on a Changing World: Program Report, 1997-98.*, 101–9. Lima (Peru): International Potato Center.
- Ortiz, Oscar, Graham Thiele, and Greg Forbes. 2003. "Farmers' Knowledge and Practices on Relation to Fungicide Use for Late Blight Control in the Andes." In *Proceedings of the International Workshop*. GILB Latin American Workshops. Cochabamba, Bolivia: E.N. Fernández-Northcote, ed. International Potato Center.
- Perez, W., and G. Forbes. 2008. *Manual Técnico: El Tizón Tardío de La Papa*. <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/004271.pdf>.
- Perez, W., M. Valverde Marival, M. Barreto Bravo, J. L. Andrade-Piedra, and G. Forbes. 2015. "Pests and Diseases Affecting Potato Landraces and Bred Varieties Grown in Peru under Indigenous Farming System." *Revista Latinoamericana de La Papa*, December. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/69210>.
- Pérez, Willmer, Rolando Arias, Arturo Taipe, Oscar Ortiz, Gregory A. Forbes, Jorge Andrade-Piedra, and Peter Kromann. 2020. "A Simple, Hand-Held Decision Support Designed Tool to Help Resource-Poor Farmers Improve Potato Late Blight Management." *Crop Protection* 134 (August): 105186. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105186>.
- Pérez, Wilmer, Johanna Lara, and Gregory Forbes. 2009. "Resistance to Metalaxyl-M and Cymoxanil in a Dominant Clonal Lineage of *Phytophthora Infestans* in Huánuco, Peru, an Area of Continuous Potato Production." *European Journal of Plant Pathology* 125 (1): 87–95. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9461-z>.
- Pilet, F., G. Chacón, G. A. Forbes, and D. Andrivon. 2006. "Protection of Susceptible Potato Cultivars against Late Blight in Mixtures Increases with Decreasing Disease Pressure." *Phytopathology* 96 (7): 777–83.
- Pradel, W., Hareau, G., Quintanilla, L., Suárez, V. 2017. "Adopción e Impacto de Variedades Mejoradas de Papa En El Peru: Resultado de Una Encuesta a Nivel Nacional (2013)." International Potato Center. <https://doi.org/10.4160/9789290602118>.
- Pradel, Willy, Marcel Gatto, Guy Hareau, S.K. Pandey, and Vinay Bhardway. 2019. "Adoption of Potato Varieties and Their Role for Climate Change Adaptation in India." *Climate Risk Management* 23: 114–23. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2019.01.001>.
- Rietman, Hendrik, Gerard Bijsterbosch, Liliana Cano, Heung-Ryul Lee, Jack Vossen, Evert Jacobsen, Richard Visser, Sophien Kamoun, and Vivianne Vleeshouwers. 2012. "Qualitative and Quantitative Late Blight Resistance in the Potato Cultivar Sarpo Mira Is Determined by the Perception of Five Distinct RXLR Effectors." *MPMI*. <https://doi.org/10.1094/MPMI-01-12-0010-R>.
- Sanabria, Kimberlayn, Willmer Pérez, and Jorge L. Andrade-Piedra. 2020. "Effectiveness of Resistance Inductors for Potato Late Blight Management in Peru." *Crop Protection* 137 (November): 105241. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105241>.
- Schepers, H. T. A. M., G. J. T. Kessel, F. Lucca, M. G. Förch, G. B. M. van den Bosch, C. G. Topper, and A. Evenhuis. 2018. "Reduced Efficacy of Fluazinam against *Phytophthora Infestans* in the Netherlands." *European Journal of Plant Pathology* 151 (4): 947–60. <https://doi.org/10.1007/s10658-018-1430-y>.
- Stam, Remco, and Bruce A. McDonald. 2018. "When Resistance Gene Pyramids Are Not Durable-the Role of Pathogen Diversity: R-Gene Pyramid Durability and Pathogen Diversity." *Molecular Plant Pathology* 19 (3): 521–24. <https://doi.org/10.1111/mpp.12636>.
- Thurston, H. D. 1990. "Plant Disease Management Practices of Traditional Farmers." *Plant Disease* 74: 96–102.
- Wang, Jianan, Michael D. Coffey, Nicola De Maio, and Erica M. Goss. 2020. "Repeated Global Migrations on Different Plant Hosts by the Tropical Pathogen *Phytophthora Palmivora*." Preprint. Plant Biology. <https://doi.org/10.1101/2020.05.13.093211>.
- Xin, Cuihua, Na Li, and Jiangbo Guo. 2012. "Potato Late Blight Control Using R-Gene Polyculture by GMO." *Energy Procedia* 16: 1925–29. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.01.294>.
- Yanggen, D., C. Donald Cole, C. Crissman, and S. Sherwood. 2003. "Human Health, Environmental, and Economic Effects of Pesticide Use in Potato Production in Ecuador." *Research Brief* May 2003.