



Severidad del tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*) en zonas agrícolas del Perú asociado con el cambio climático

Severity of the potato late blight (*Phytophthora infestans*) in agricultural areas of Peru associated with climate change

DIANA GIRALDO^{1,*}, HENRY JUAREZ¹, WILLMER PÉREZ¹, IRENE TREBEJO²,
WILFREDO YZARRA² & GREG FORBES¹

¹Centro Internacional de la Papa, Av. La Molina 1895, La Molina, Lima, Perú.

* d.giraldo@cgiar.org

² Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Jr. Cahuíde 785 Jesús María, Lima11 - Perú

Resumen

Se realizó la zonificación de las regiones de producción de papa asociadas con los riesgos del tizón tardío causado por el *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, en los departamentos de Cajamarca, Huánuco y La Libertad en el Perú. Se utilizó el modelo agroclimático GEOSIMCAST para generar mapas de riesgo con el número de aplicaciones necesarias de fungicidas para controlar la enfermedad en un cultivar susceptible, planteando escenarios actuales basados en superficies climáticas a nivel diario generadas en el interpolador ANUSPLIN, con una resolución espacial de 1 km, para las campañas agrícolas 2002 al 2006 y considerando un escenario climático según la variación del modelo CCCMA (SRESA2_2040-2069).

Se comprobó que las zonas en estudio presentaron condiciones meteorológicas adecuadas para el desarrollo de la enfermedad durante el ciclo vegetativo del cultivo, el mismo que se incrementa ante eventos climáticos extremos o la presencia de fenómenos como El Niño. Se estima que en la actualidad el gasto en fungicidas para controlar la enfermedad en la zona de estudio asciende a US\$ 40.7 millones. Se espera que por efecto del cambio climático, el gasto en fungicidas se incremente a US\$ 50.4 millones, donde la mayoría de agricultores son de subsistencia. No hay duda de que un ambiente más húmedo y caliente planteará nuevos retos para los productores de papa en el Perú, en cuanto al control de la enfermedad.

Palabras claves: tizón tardío, condiciones meteorológicas, fungicidas, cambio climático.

Abstract

Zoning of potato production regions associated with late blight risks caused by oomycete *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary was conducted in the departments of Cajamarca, Huánuco and La Libertad in Peru. The GEOSIMCAST model was used to generate agroclimatic risk maps with the number of fungicide applications needed to control the disease in a susceptible cultivar, proposing scenarios based on current climate surfaces on a daily basis, generated using the ANUSPLIN interpolation technique with a spatial resolution of 1 km for crop season 2002 to 2006 and, considering a climate scenario according to the variation of the CCCMA model (SRESA2_2040-2069).

It was found that the weather conditions in the areas under study allowed the development of the disease during the crop growing season, same one that increases in the occurrence of extreme climate events or phenomena such as El Niño. It is estimated that current expenses on fungicides to control the disease in the studied area amounts to US\$ 40.70 million. It is expected that the effect of climate change, expenses on fungicides would increase to 50.40 million, considering that the majority are subsistence crops. There is no doubt that a more humid and warm environment will pose new challenges to potato farmers in Peru in terms of controlling the disease.

Keywords: late blight, weather, fungicides, climate change.

INTRODUCCIÓN

El cuarto cultivo en importancia, después del arroz, el trigo y el maíz, la papa es una fuente de ingresos para muchos agricultores en el Perú (InfoResources, 2008). Una de las principales limitaciones biológicas que afectan a este cultivo es el tizón tardío de la papa causado por *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary; que además es considerada como una de las enfermedades más importantes que afecta al cultivo de la papa a escala mundial, causando significativas pérdidas de rendimiento (Mantecon, 2002). El desarrollo de la enfermedad es particularmente devastadora en zonas húmedas y templadas (Hijmans et al., 2000) como en los valles interandinos y costeros del Perú, especialmente cuando hay temperatura moderada durante el día y alta humedad relativa en las noches (Pérez & Forbes, 2007).

El uso de cultivares resistentes y fungicidas permite reducir las pérdidas causadas por esta enfermedad (Forbes & Jarvis, 1994), siendo las aplicaciones de fungicidas la principal medida de control. El manejo indiscriminado de estos productos, sin importar el ciclo de vida del patógeno y las condiciones meteorológicas durante el cultivo, ocasiona efectos perjudiciales en la salud de los productores, los consumidores y el medio ambiente (Yanggen, 2004 y Crissman, 2002). Desafortunadamente, el control químico se está haciendo más difícil debido a la aparición de poblaciones nuevas y más agresivas de *P. infestans* (Fernández-Northcote, 1999).

Hoy en día, los agricultores se han visto obligados a adaptarse a nuevas condiciones climáticas, así como a eventos extremos que han sido atribuidos al cambio climático global (InfoResources, 2008). Sin embargo, hay pocos modelos de simulación que puedan proveer información acerca de la influencia específica del clima sobre el cultivo de papa y menos aún en la incidencia y severidad de las plagas y enfermedades agrícolas que la afectan. Se estima que los efectos derivados de las variaciones en la

temperatura y precipitación principalmente, serían la duración de los ciclos de cultivo, alteraciones fisiológicas por exposición a temperaturas fuera del umbral permitido, deficiencias hídricas, erosión genética y respuesta a nuevas poblaciones de plagas y enfermedades (Watson, 1997). Contrariamente, se espera que el cambio climático tenga un efecto favorable sobre los rendimientos en zonas de cultivo situadas a mayores latitudes. Informes preliminares de InfoResources (2008) indican que se espera una expansión del tizón tardío hacia regiones hasta ahora bastante libres de esta enfermedad, como las zonas más altas y situadas a mayor latitud.

De acuerdo con Giorgi (2005), la mejor herramienta científica disponible actualmente para simular la respuesta del sistema climático es utilizar escenarios climáticos derivados de los modelos de circulación general de la atmósfera (MCG). Para la zona de estudio se encontró una variación del modelo CCCMA (SRESA2_2040-2069) del orden de + 1.5 a + 2.1 °C en la temperatura, de acuerdo a los datos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Dada la sensibilidad del tizón tardío de la papa a las condiciones meteorológicas, es probable que un ambiente más húmedo y caliente planteará nuevos retos para los productores de papa en el Perú. De esta manera, el objetivo del presente trabajo fue generar mapas de las campañas agrícolas (2002 al 2006) y un escenario futuro (variación del Modelo CCCMA_2050) de riesgo de tizón tardío de la papa, en los departamentos de Cajamarca, Huánuco, La Libertad en Perú, así como la estimación del impacto económico originado por el control químico del tizón tardío.

METODOLOGÍA

De manera concreta se indican las etapas principales del proceso metodológico.

Área de estudio

Se tuvo como ámbito de interés los departamentos de Cajamarca, Huánuco y La Libertad por ser áreas de mayor producción de papa y presentar las condiciones agroclimáticas favorables para el desarrollo de la enfermedad, lo que causa pérdidas o reduce los rendimientos de la producción de papa. Se tiene reportes de que el tizón tardío es el principal problema en estos

departamentos, donde la mayoría de los agricultores son de subsistencia (Ortiz, 1999).

Estaciones meteorológicas

La información se obtuvo de 43 estaciones meteorológicas convencionales pertenecientes al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, www.senamhi.gob.pe (Fig. 1). Se trabajó con datos diarios de temperatura máxima (T_{máx.} °C), mínima (T_{mín.} °C), precipitación

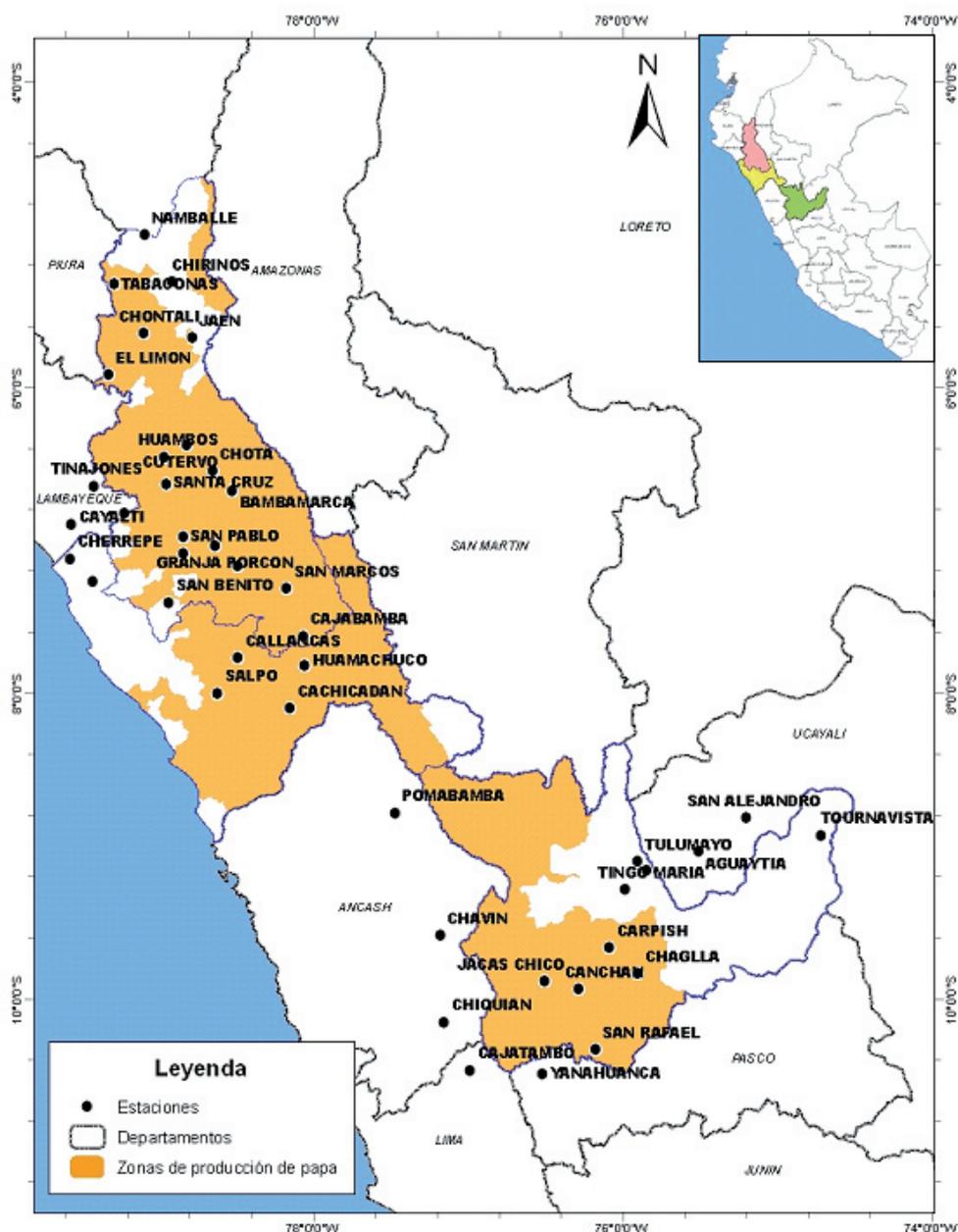


Fig. 1. Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas (SENAMHI) en las zonas de producción de papa de los departamentos de Cajamarca, Huánuco, La Libertad en el Perú

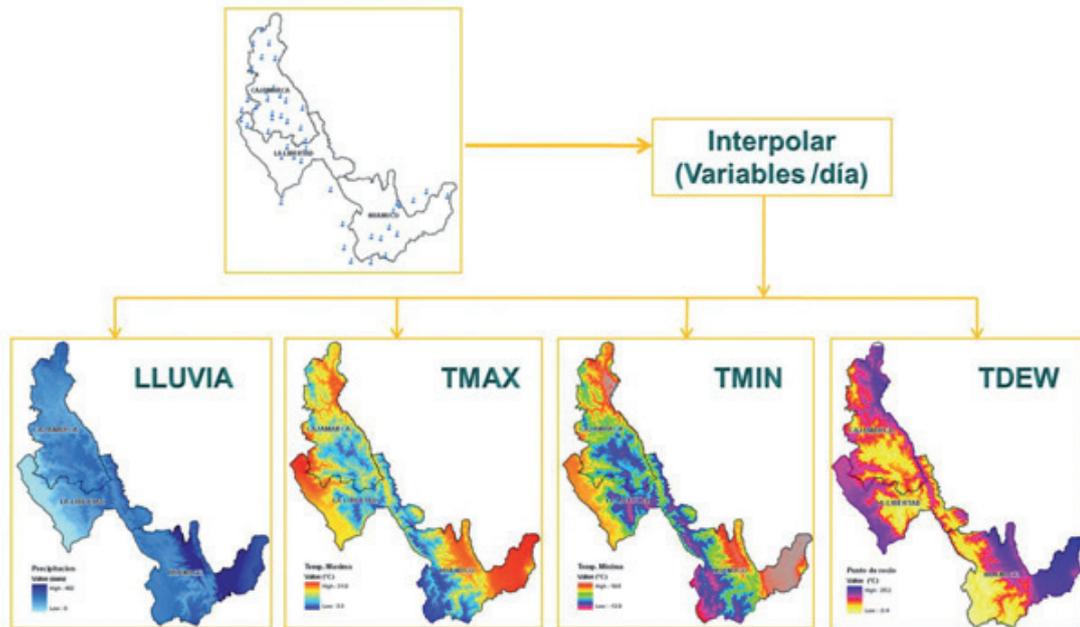


Fig. 2. Generación de superficies climáticas de alta resolución (1 km) a nivel diario de los datos de las estaciones meteorológicas de acuerdo al relieve topográfico y la ubicación geográfica (latitud y longitud), utilizando el software ANUSPLIN versión 4.3

(lluvia, mm), datos calculados de humedad relativa diaria (RH, %) en función a la temperatura del bulbo húmedo y bulbo seco y temperatura de rocío (T_{dew}, °C) en función a la presión parcial del vapor de agua, correspondientes a las campañas agrícolas 2002 al 2006.

Campaña Agrícola

Teniendo en cuenta los datos obtenidos por el Centro Internacional de la Papa (CIP) a través de entrevistas formales e informales y evaluaciones en campo, el periodo de cultivo de la papa que se consideró fue de 120 días, con 20 días de emergencia y con 100 días de desarrollo vegetativo. Considerando el mes de noviembre como inicio de las campañas agrícolas 2002 al 2006 en la zona de estudio. (Fecha de siembra: 1 de noviembre)

Generación de superficies de clima

Con el fin de obtener una representación espacial de las variables climáticas, se realizó un proceso de interpolación de datos de las estaciones meteorológicas de acuerdo a la campaña agrícola en la zona de

estudio. Se generaron archivos de extensión .dat compatibles con el interpolador para crear superficies con una resolución de 1 km por variable (T_{mín.} T_{máx.} T_{dew} y lluvia) (Fig. 2). Se utilizó la interpolación segmentaria cúbica conocida como Splines (Díaz et al, 2008 y al., Cuahtémoc et al, 2009) incluido en el software al., ANUSPLIN Versión 4.3 desarrollado por Hutchinson, (2004).

A partir de las salidas del modelo CCCMA se analizó la variación de las temperaturas y precipitación al 2050 en la zona de estudio, teniendo en cuenta la campaña agrícola con base en el promedio de las condiciones meteorológicas de las campañas 2002 al 2006.

Para generar las superficies climáticas de un escenario futuro, se interpoló y adicionó la anomalía por variable (T_{máx.} T_{mín.} y lluvia) del modelo CCCMA a cada día de la campaña agrícola promedio 2002 al 2006.

Se viene trabajando para mejorar la aplicación de estos modelos climáticos globales y regionales, que permita generar mapas de tizón tardío futuro,

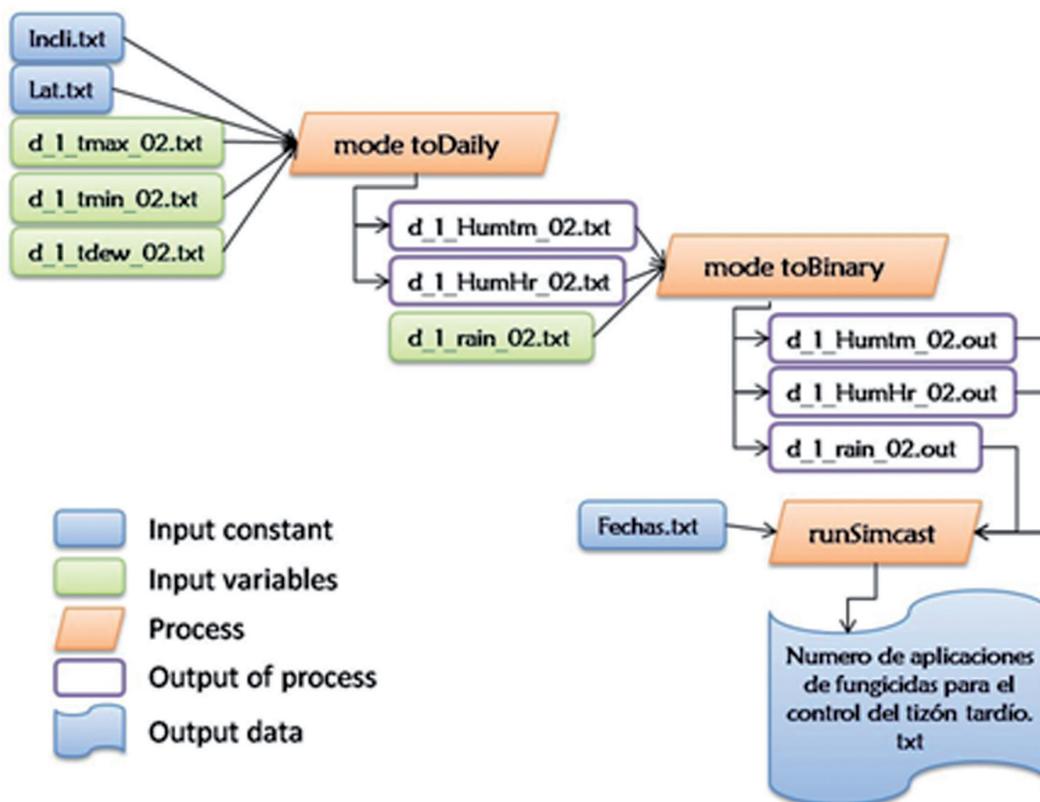


Fig. 3. Flujo de procesos GEOSIMCAST

con base en la información de estaciones meteorológicas, las técnicas de interpolación y de downscaling.

Generación de mapas de riesgo

El modelo de evaluación GEOSIMCAST desarrollado por el CIP y aplicado por Raymundo et al. (2007), genera mapas de presencia de tizón tardío basado en el número de aplicaciones de fungicida que debe ser usado para controlar la enfermedad. El modelo emplea variables diarias de horas de humedad relativa (Humhr, horas), temperatura promedio en las horas de humedad relativa (Humtm, °C) y precipitación (rain, mm) (Fig. 3).

GEOSIMCAST permite evaluar el humedecimiento de la hoja, el cual es estimado a partir de las “Horas de Humedad (RH)”, término que equivale al número de horas en un día cuando la humedad relativa supera 85% (Fry et al., 1983; Grünwald et al., 2002). Las variables horarias fueron obtenidas usando la

metodología desarrollada por Cesaraccio et al. (2001), que usa valores diarios de temperatura mínima, máxima, temperatura mínima del día siguiente, la hora de salida y puesta del sol. Las horas de salida y puesta del sol se obtuvieron usando la latitud de la estación meteorológica y el día del año (del 1 al 365). El punto de rocío diario y la temperatura horaria calculada fueron usados para hallar la humedad relativa horaria; esta a su vez resulta de dividir la presión de vapor real y la presión de vapor de saturación. Para hallar la presión de vapor real se usó el punto de rocío diario; mientras que para hallar la presión de vapor de saturación se usó la temperatura horaria.

Para realizar una aplicación, el modelo considera umbrales acumulados de unidades de tizón y unidades de fungicida. Las unidades de tizón (UT) están influenciadas por la Humhr y Humtm e indica el grado de severidad de la enfermedad; mientras que las unidades de fungicida (UF) están influenciadas por la lluvia e indican la

cantidad de producto que se está perdiendo del follaje a consecuencia de la lluvia.

Con las superficies climáticas generadas en el interpolador para las campañas agrícolas 2002 al 2006 y considerando una superficie de clima en un ambiente más calido y húmedo según el modelo CCCMA_2050s, se corrió el modelo GEOSIMCAST para la fecha de siembra (1 de noviembre), obteniendo mapas con el número de aplicaciones de fungicidas necesarios para controlar el tizón tardío en un cultivar susceptible. El total de aplicaciones evaluadas corresponde a cien (100) días de desarrollo vegetativo del cultivo.

Cuantificación del impacto económico

El análisis económico se basó en datos obtenidos por encuestas a los agricultores (Maldonado, 2008) de los que se tomaron algunos criterios relacionados al control químico de la enfermedad, como el uso del fungicida Clorotalonil que tiene un control similar al Mancozeb. Se empleó el área de producción de papa (Hijmans, 2002) considerando los límites administrativos y zonas específicas de producción. El costo por el empleo de jornales fue obtenido del plan de producción y costos (PPC) de Mamani (2007) y el uso de productos químicos (Ortiz, 1999). La información anterior fue unida espacialmente a las salidas del modelo

GEOSIMCAST que evaluó el número de aplicaciones de fungicida para la campaña agrícola 2002 y para un escenario futuro CCCMA_2050s. Se consideraron los costos de mano de obra aproximadamente en US\$ 7.80 por hectárea por aplicación y se consideraron los costos de fungicidas de US\$ 22.60 por hectárea por aplicación (el costo por litro de fungicida localmente es US\$ 11.29).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos se confirma que la zona en estudio presentó condiciones meteorológicas adecuadas para el desarrollo del tizón tardío de la papa durante su ciclo vegetativo en las campañas agrícolas del 2002 al 2006.

Información meteorológica

Por lo general, la precipitación total (mm) durante las campañas agrícolas fue superior en Huánuco, comparada con Cajamarca y la sierra de La Libertad (Fig. 4).

La precipitación total en los tres departamentos fue alta en la campaña agrícola 2002-2003. Cabe destacar que durante esta campaña agrícola se desarrolló un evento El Niño de intensidad débil a moderada (Lavado et al., 2009; BAC, 2002/03), provocando lluvias excesivas en la sierra y costa norte con un proceso de calentamiento

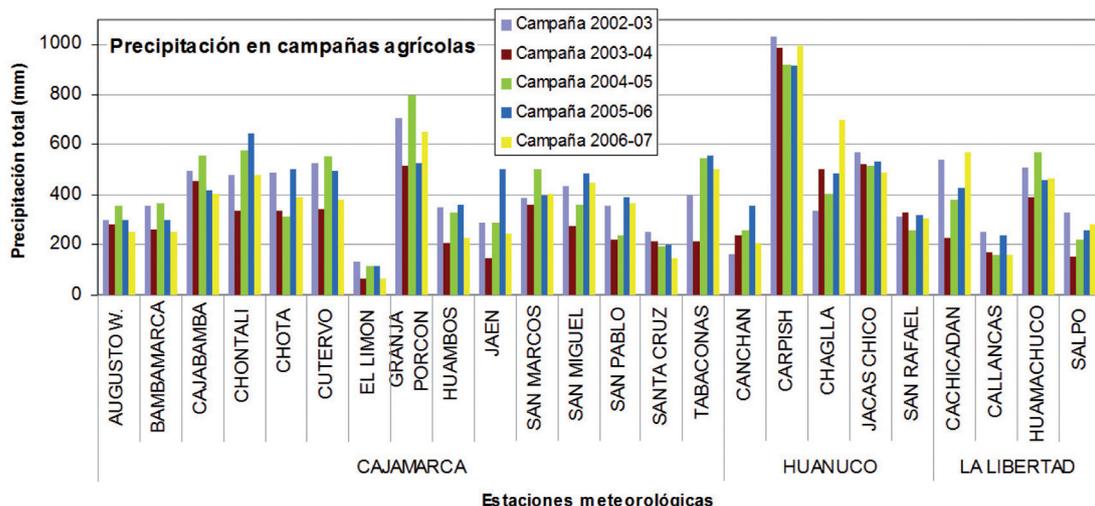


Fig. 4. Precipitación total en milímetros (mm) durante el periodo vegetativo de la papa (120 días) en las campañas agrícolas 2002 al 2006.

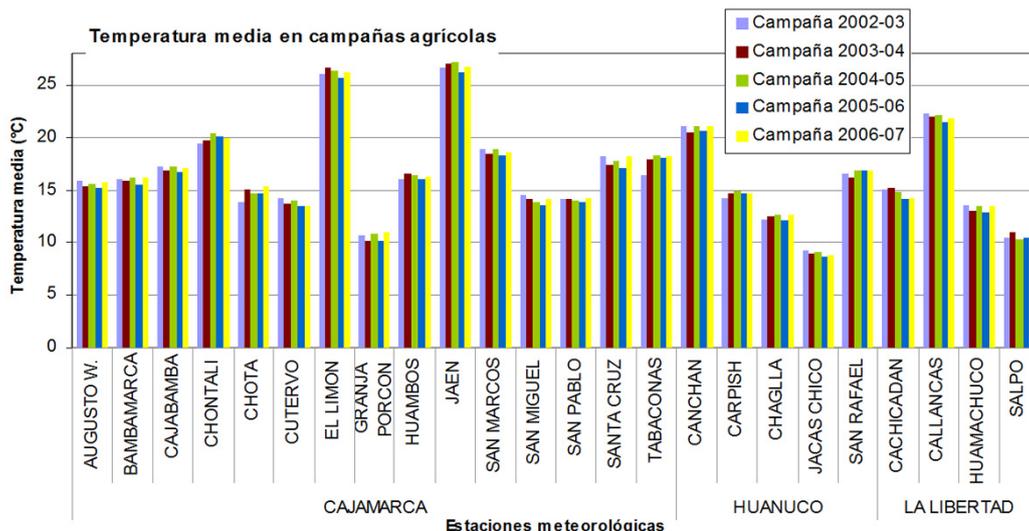


Fig. 5. Temperatura media (°C) durante el período vegetativo de la papa (120 días) en las campañas agrícolas 2002 al 2006.

anómalo que se inició a principios del mes de diciembre y se extendió hasta el primer trimestre de 2003.

La campaña agrícola 2006-2007, que se caracterizó por presentar un evento El Niño moderado (BAC, 2006/07) causando muchas pérdidas en el cultivo de papa (Mendoza, 2009). Por otro lado, las campañas agrícolas 2003-2004 y 2005-2006 no fueron afectadas por eventos ENOS; sin embargo, registraron eventos propios de la variabilidad climática que repercutieron negativamente en la

agricultura; tal es así que la campaña 2003-2004 se caracterizó por presentar deficiencias de precipitación y descensos significativos de la temperatura mínima en la sierra norte, principalmente en Cajamarca y Piura (SENAMHI, 2005).

La temperatura media óptima para el cultivo de la papa en la campaña agrícola se registró en la zona de sierra (15 °C a 20 °C) y las de mayor temperatura en la zona costa y selva (Fig. 5).

Entre las campañas agrícolas, en

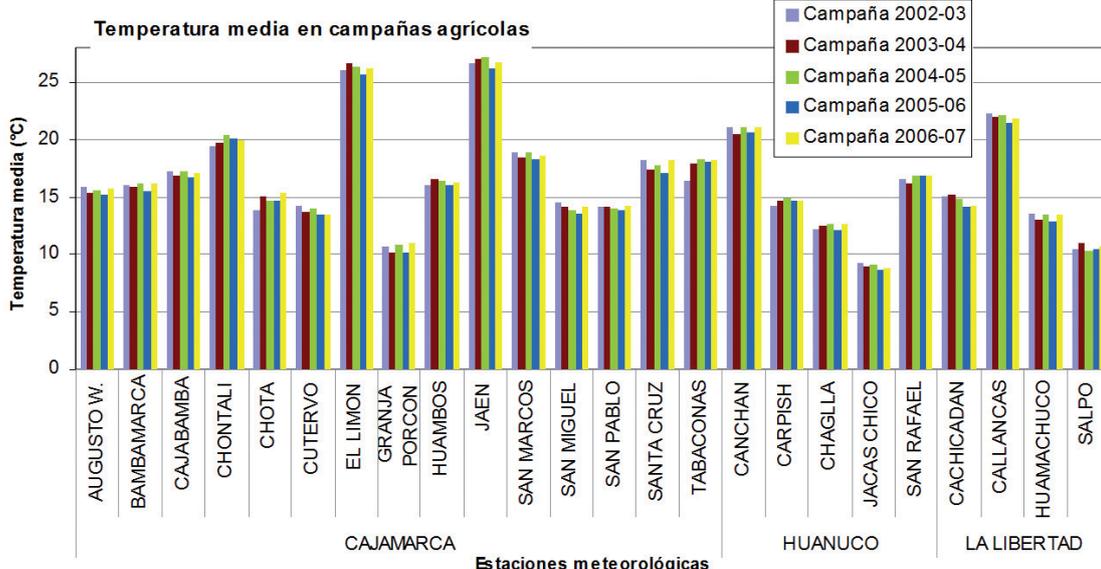


Fig. 6. Humedad relativa (%) durante el período vegetativo de la papa (120 días) en las campañas agrícolas 2002 al 2006.

promedio, en la campaña agrícola 2005-2006 se registró menores valores de temperatura media. Asimismo, en las estaciones representativas de Cajamarca se registraron valores de temperatura media más elevados.

El comportamiento de la presión parcial debido al vapor de agua, parámetro de humedad atmosférica, nos indica que, en promedio, la campaña agrícola 2002-2003 fue la que dispuso de mayor cantidad de humedad. Asimismo, los valores pico se muestran asociados a los eventos ENOS y años cálidos. (Fig. 6.)

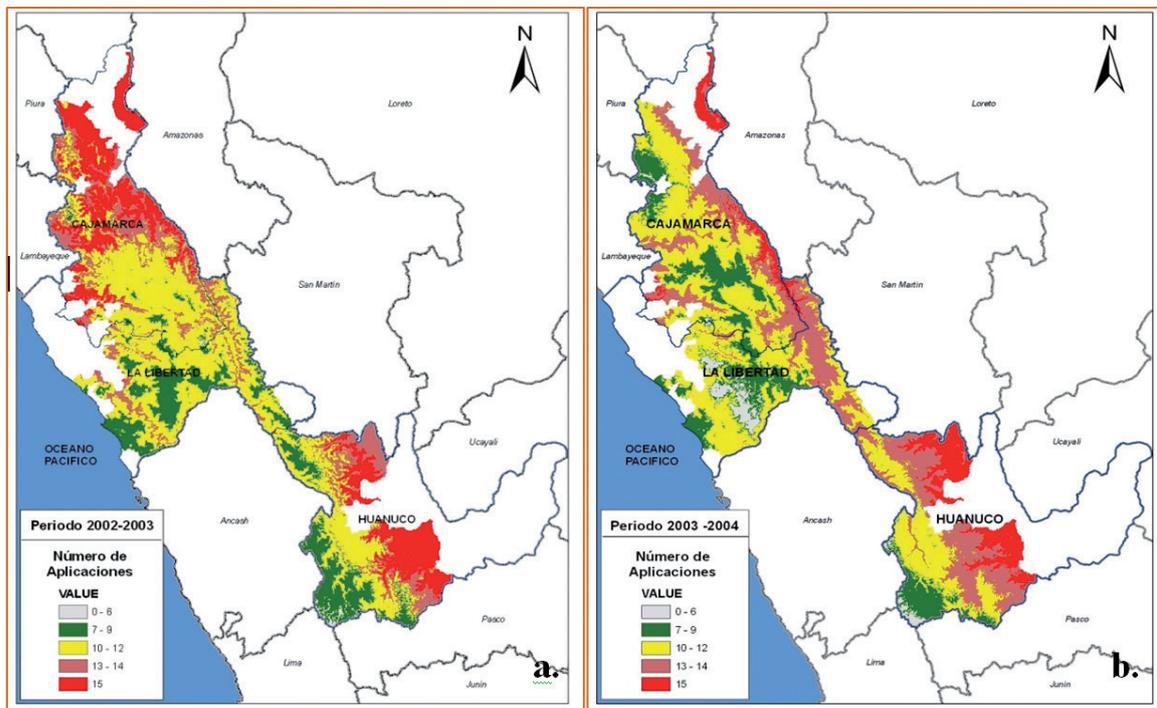
Generación de mapas de riesgo por tizón tardío

La zonificación basada en la presión del tizón tardío según el modelo agroclimático GEOSIMCAST muestra áreas de mayor aplicación de fungicida. Para la campaña agrícola 2002-2003, la Fig. 7a muestra cantidades superiores a 15 aplicaciones de fungicida que se registraron en la zona norte y centro de Cajamarca y en la región central de Huánuco. Este comportamiento

estuvo asociado principalmente a la mayor humedad atmosférica y precipitación registrada durante este período. En el resto de la región predominaron las aplicaciones entre 7 a 9 días y entre 10 a 12 días. La región papera de Huánuco (Chaglla, Canchán y Carpish) reporta permanentemente alto riesgo de tizón tardío (> a 15 aplicaciones) durante todas las campañas agrícolas.

En las campañas 2003-2004 y 2004-2005 las Fig. 7b y 7c muestran un mayor número de aplicaciones de fungicida en las partes altas de la zona de estudio. En la zona central de Cajamarca las aplicaciones varían de 7 a 9 para la campaña 2003-2004 y de 10 a 12 para la campaña 2004-2005; esto ocurrió de igual manera en La Libertad.

En la campaña 2005-2006, la Fig. 7d muestra que la mayor severidad de la enfermedad se presentó en la parte central del departamento de Huánuco con más de 12 aplicaciones y, una disminución en aplicaciones de 6 a 9 en la parte alta de los departamentos de Cajamarca y La Libertad.



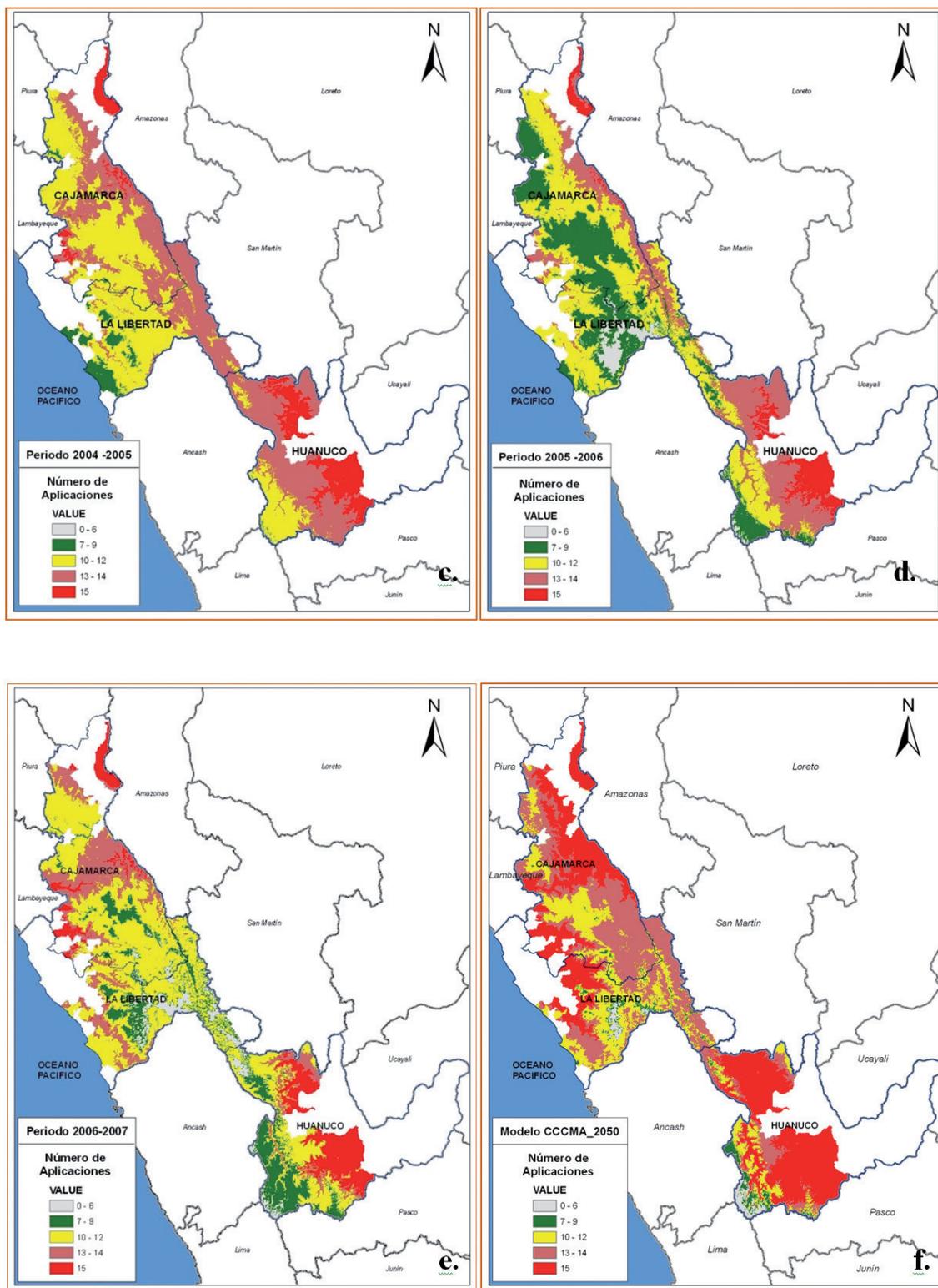


Fig. 7. Mapas de riesgo de tizón tardío en las zonas de producción de papa generado por el modelo GEOSIMCAST para la evaluación de aplicaciones necesarias de fungicida en el control de la enfermedad para un cultivar susceptible. El patrón de salida se evaluó a partir de la información meteorológica en: Fig. 7a campaña 2002-2003; Fig. 7b campaña 2003-2004; Fig. 7c campaña 2004-2005; Fig. 7d campaña 2005-2006; Fig. 7e campaña 2006-2007; Fig. 7f escenario futuro CCCMA_2050.

El riesgo de la presencia del tizón tardío durante la campaña agrícola 2006-2007 fue similar al de la campaña 2002-2003, excepto en la región norte y central de Cajamarca, que presentó mayores valores de humedad y mayor riesgo. Durante ambas campañas se registró la presencia de eventos ENOS.

En cuanto a la severidad del tizón tardío asociado con el cambio climático en un ambiente más cálido y húmedo, utilizando el modelo CCCMA_2050 (Fig. 7f) respecto a la información meteorológica promedio de las campañas agrícolas 2002 al 2006, se muestra un aumento notable de uso de fungicidas mayor a 15 aplicaciones con un gradiente desde la parte oriental de los Andes hacia la costa.

No hay duda, que el cambio climático, los eventos climáticos extremos o la presencia de eventos ENOS incrementarán significativamente la presión del tizón tardío en zonas libres o moderadas como las zonas más altas y situadas a mayor latitud, planteando nuevos retos para los productores de papa en el Perú.

Cuantificación del impacto económico

Se estimó que en la actualidad (promedio de campañas agrícolas 2002 al 2006) el gasto en fungicidas para controlar la enfermedad de tizón tardío en los departamentos de Cajamarca, Huánuco y La Libertad, asciende a US\$ 40.7 millones. Se espera que por efecto del cambio climático el gasto en fungicidas se incremente a US\$ 50.4 millones, con un gasto adicional de US\$ 9.7 millones por campaña, que representa un incremento del 23% en los costos relacionados al control de la enfermedad en un área de producción de papa donde la mayoría de agricultores son de subsistencia (Tabla 1).

Los resultados muestran que en 12 de 31 provincias productoras de papa se va a necesitar una mayor cantidad de fungicidas por campaña para controlar la enfermedad en un ambiente más caliente y húmedo (escenario futuro) (Fig. 8). Bajo este escenario las provincias de mayor riesgo son San Marcos y Cajabamba en Cajamarca; Bolívar, Pataz y Sánchez Carrión en La Libertad; Huaycabamba, Yarowilca, Dos de Mayo y Ambo en Huánuco.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las condiciones medioambientales fueron favorables para el desarrollo del tizón tardío y para una adecuada evaluación de la presión de la enfermedad. La humedad relativa fue el factor climático que favoreció significativamente el desarrollo de la enfermedad en la zona de estudio durante la campaña agrícola, con humedad relativa igual o mayor a 85%.

Dada la sensibilidad del tizón tardío de la papa a las condiciones meteorológicas, no hay duda que un ambiente más húmedo y cálido, planteará nuevos retos para los productores de papa en el Perú, incrementando significativamente la presión del tizón tardío en zonas libres o moderadas como las zonas más altas y situadas a mayor latitud. Se requiere enfatizar en estudios sobre las relaciones entre la presencia de la enfermedad y eventos climáticos extremos o la presencia de fenómenos ENOS en la región andina.

En este contexto, es recomendable implementar estrategias que permitan reducir el riesgo de esta enfermedad a través de la

Tabla 1. Análisis económico de las aplicaciones necesarias de fungicida adicional para controlar la enfermedad del tizón tardío en el área de estudio en las campañas agrícolas 2002 al 2006 y en un escenario futuro CCCMA_2050.

Naturaleza del gasto	Promedio 2002 al 2006	Futuro CCCMA_2050	Gasto adicional
Fungicida (tm)	1768	2232	464
Gasto en fungicidas (millones de US\$)	40.7	50.4	9.7
Gasto en mano de obra (millones US\$)	6.89	8.70	1.81
Gasto total (millón US\$)	47.6	59.1	11.5

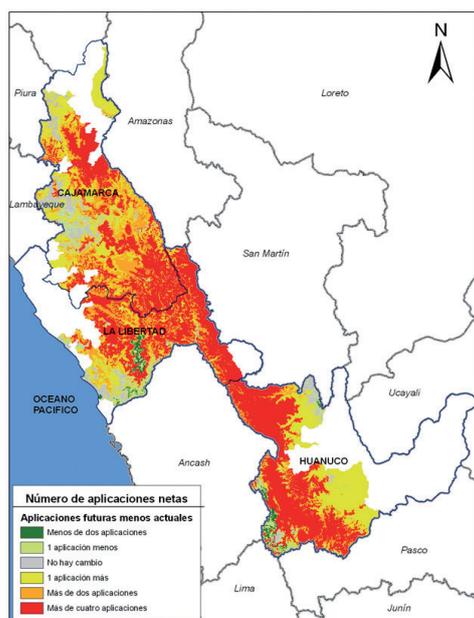


Fig. 8. Mapa de riesgo de tizón tardío en las zonas de producción de papa basado en la evaluación de aplicaciones necesarias de fungicida para controlar la enfermedad en un cultivar susceptible. El patrón se basa en el efecto sobre las aplicaciones netas (aplicaciones futuras menos actuales).

mejora de herramientas y competencias necesarias de los agricultores para estudiar y controlar el tizón tardío, creando escuelas de campo sobre el clima (Climate Farmer School - CFS), la adopción de cultivares más resistentes, el trabajo con una agricultura de respuesta, que identifique la variabilidad estacional para planificar siembras en zonas de menor incidencia y severidad de la enfermedad.

Agradecimientos: Este estudio fue realizado gracias a la colaboración entre el Centro Internacional de la Papa (CIP) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y la colaboración de Julián Ramírez del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

BIBLIOGRAFÍA

BAC (2002-2003). Boletín de Alerta Climático de la Comisión Permanente del Pacífico Sur. N° 142 al 149. Disponible en: www.cpps-int.org.
BAC (2006-2007). Boletín de Alerta Climático

de la Comisión Permanente del Pacífico Sur. N° 192 al 197. Disponible en: www.cpps-int.org.

Cesaraccio, C., Spano, D., Duce, P. & Snyder, R.L. (2001). An improved model for estimating degree days. In: VI International Symposium on Computer Modelling in Fruit Research and Orchard Management. Acta Horticulturae, 584: 255-259.

Cuauhtémoc, Sáenz-Romero., Rehfeldt, Gerald E., Crookston, Nicholas L., Duval, Pierre., St-Amant, Rémi., Beaulieu, Jean. & Richardson, Bryce A. (2009). Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. Climatic Change, doi: 10.1007/s10584-009-9753-5.

Crissman, C.C., Yanggen, D. & Espinosa, P. (2002). Potato Production and Pesticide Use in Ecuador: Linking Impact Assessment Research and Rural Development Intervention for Greater Eco-System Health. Paper presentado en: International Conference on Impacts of Agricultural Research and Development, San José, Costa Rica, February 4-7.

Díaz, P. Gabriel., Sánchez, C. Ignacio., Quiroz, Roberto., Garatuza, P. Jaime., Watts, T. Christopher. & Cruz, Medina, Roberto. (2008). Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de Barlovento y Sotavento del Golfo de México. Agricultura Técnica en México, 34 (3): 279-287.

Egusquiza, R. (2000) La papa, producción, transformación y comercialización. CIMAGRAF S.R.L., Lima, Perú. 192 pp.

Fernández-Northcote, E. N., Navia, O. & Gandarillas, A. (1999). Bases de las estrategias de control químico del tizón tardío desarrolladas por PROINPA en Bolivia. Revista Latinoamericana de la Papa, 11:1-25.

Forbes, G. A. & M. C. Jarvis. (1994). Host resistance for management of potato late blight. In: Advances in Potato Pest Biology and Management (ed. by G. W. Zehnder, M. L. Powelson, R. K. Jansson, and K. V. Raman) 357 - 439. APS Press, St. Paul, MN, USA.

Fry, W. E., Apple, A. E., & Bruhn, J. A. (1983). Evaluation of potato blight forecasts modified to incorporate host resistance and fungicide weathering. Phytopathology 73: 1054-1059.

- Giorgi, F. (2005).** Climate change prediction. *Climatic change*, 73(3): 239-275.
- Grünwald, N. J., Romero, Montes, G., Lozoya, Saldaña, H., Rubio, Covarrubias, O. A. & Fry, W. E. (2002).** Potato late blight management in the Toluca valley: Field validation of SimCast modified for cultivars with high field resistance. *Plant Disease*, 86: 1163-1168.
- Hijmans, R.J., Forbes G.A. & Walker, T.S. (2000).** Estimating the global severity of potato late blight with a GIS-linked disease forecaster. *Plant Pathology*, 49: 697-705.
- Hijmans, R., D. M. Spooner, A. R. Salas & I. Guarino, J. De la cruz. (2002).** Atlas of wild potatoes. Systematic and Ecogeographic Studies on Crop Genepools. No. 10. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). Rome (Italy). 130 pp.
- Hutchinson, M. F. (2004).** ANUSPLIN version 4.3 user guide. Centre for Resource and Environmental Studies, The Australian National University, Canberra, 54 pp.
- Inforesources Focus. (2008).** La papa y el cambio climático. Disponible en: www.deza.admin.ch/ressources/resource_es_168163.pdf.
- Lavado, W., Silvestre, E. & Felipe, O. (2009).** Impacto de ENOS en la Hidrología del Perú (1968-2006). *Revista Peruana Geo-Atmosférica*, 1:48-57.
- Maldonado, L., Suárez, V. & Thiele, G. (2008).** Estudio de la adopción de variedades de papa en zonas pobres del Perú. Lima (Perú). Centro Internacional de la Papa (CIP). 2008. 37 p. Ciencias Sociales Documento de Trabajo. ISSN 0256-8756. N° 2008-2.
- Mamani P., Guidi, A. & Espinoza, J. (2007).** Plan de producción y costos. Fundación PROINPA. Cochabamba (Bolivia). 28 pp.
- Mantecon, J. (2002).** Pérdidas potenciales debidas al tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*) durante la última década. Disponible en: www.argenpapa.com.ar.
- Mendoza, Yonel. (2009).** «Cambio climático... ¿amenaza u oportunidad para la agricultura peruana?». En: *Tecnología y Sociedad*. Lima: Soluciones Prácticas. Año 16, N° 8. 2009. pp. 101-121.
- Ortiz, O., Winters, P. & Fano, H. (1999).** La percepción de los agricultores sobre el problema del tizón tardío o rancho (*Phytophthora infestans*) y su manejo: estudio de casos en Cajamarca, Perú. *Revista Latinoamericana de la Papa*. 11:97-120.
- Pérez, W. & Forbes, G. (2007)** ¿Qué es el tizón tardío? En: *Manejo integrado del tizón tardío*. Centro Internacional de la Papa. Hoja divulgativa. Disponible en: <http://www.cipotato.org/publications/pdf/003857.pdf>.
- Raymundo, Rubí., Ávila, Luis., Andrade, Jorge., Juárez, Henry., Reinhard, Simon. & Forbes, G. (2007).** Estimando la severidad del tizón tardío con un sistema de predicción de enfermedades unida a un SIG. Centro Internacional de la Papa. Documento de trabajo. Lima, Perú. 12 pp.
- SENAMHI. (2005).** Boletín meteorológico e hidrológico del Perú. Año V, N° 10, Octubre 2005. Disponible en: <http://www.wamis.org/countries/peru/PER200510.pdf>.
- Watson, R., Zinyowera, M., Moss, R. & Dokken, D. (1997).** The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. Summary or policymakers. Report of IPCC Working group II. 16 pp.
- Yanggen, D., Cole, D., Crissman, C. & Sherwood, S. (2004).** Pesticide use in highland Ecuador commercial potato production: reflections on research and interventions to promote highland ecosystems health. *Ecohealth*, 1 (2): 72-83.