

ANÁLISIS DEL COSTO DE REMOCIÓN DE FUNGICIDAS UTILIZADOS EN EL CONTROL DEL TIZÓN TARDÍO (*Phytophthora infestans*) DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*)

Carlos Alfonso LÓPEZ ORONA^{1, 2}, Claudia Giovanna PEÑUELAS RIVAS³, Tizbe Teresa ARTEAGA REYES¹ y Angel Roberto MARTÍNEZ CAMPOS^{1*}

¹ Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) km. 14.5 Autopista Toluca-Atlacomulco. San Cayetano de Morelos. Toluca, Estado de México. CP 50295. México

² Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Agronomía. Carretera Culiacán-Eldorado Km. 17.5. Culiacán de Rosales, Sinaloa. C.P. 80398. México

³ Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México. CP 50090. México

*Autor responsable: amartimacar@yahoo.com.mx

(Recibido enero 2013, aceptado mayo 2013)

Palabras clave: patrón de uso, clorotalonil, metalaxil, fenamidone

RESUMEN

En el presente estudio se determinaron el patrón de uso y los costos de remoción en suelo de los fungicidas utilizados para el control de *Phytophthora infestans*, en el cultivo de papa en el municipio de Zinacatepec, Estado de México. En los predios de temporal los excedentes de clorotalonil fueron de 1.13 kg/ha de ingrediente activo, mientras que para metalaxil y fenamidone fueron de 0.65 y 0.52 kg/ha respectivamente, lo que representa el doble de los excedentes aplicados en los predios de riego. Se determinó que remediar una hectárea de suelo de cultivo de papa tiene un costo mínimo de 2.73 millones de pesos mexicanos (pesos MXN). Para el caso de las parcelas de doble ciclo en las que se emplean dosis de fungicidas arriba de lo recomendado el ingreso libre máximo durante el periodo de vida (15 años) fue de 2.66 millones de pesos MXN. Por otro lado los sistemas de riego de doble ciclo que aplican fungicidas en niveles por debajo de lo recomendado tienen vida media de 25 años, durante la cual se obtiene un ingreso real de 3.27 millones de pesos MXN/ha, lo que representa 18.65 % más de los ingresos que obtendrían durante el periodo de vida las parcelas que aplican fungicidas en dosis arriba de lo recomendado.

Key words: pattern of use, chlorothalonil, metalaxyl, fenamidone

ABSTRACT

In this study, the pattern of use and cleaning-up costs of fungicides in soils used to control *Phytophthora infestans* in potato crops were determined in the municipality of Zinacatepec, State of Mexico. In the plots of seasonal agriculture, the excesses of chlorothalonil were 1.13 kg/ha of active ingredient while for metalaxyl and fenamidone were 0.65 and 0.52 kg/ha respectively; this represents the double of excesses applied in plots of irrigation agriculture. It was determined that the minimum cost of cleaning-

up one hectare of potato crops is 2.73 million of Mexican pesos (MXN pesos). In the case of plots with a double cycle, where dose of fungicides are employed above the recommended, the maximum spare income during the period of life (15 years) was 2.66 million of MXN pesos. On other hand, the irrigation systems, with double cycles that apply fungicides at levels below the recommended dose, have an average life span of 25 years, during which a real income of 3.27 million of MXN pesos/ha is obtained. This represents an income 18.65 % higher than the one that could be obtained during the life span of plots that apply fungicides above the recommended dose.

INTRODUCCIÓN

El uso de fungicidas ha mejorado el rendimiento de las cosechas al disminuir las enfermedades en los cultivos, sin embargo su uso puede ocasionar efectos adversos en la salud pública y al ambiente, ya sea por exposición directa o indirecta (WHO 2004).

En México, en 2010 se cosecharon 1.50 millones de toneladas de papa (*Solanum tuberosum*) en una superficie de 55 645.63 hectáreas, obteniéndose un rendimiento promedio de 27.76 toneladas por hectárea, ubicando a este cultivo en el segundo lugar nacional de la producción hortícola. El Estado de México destina para el cultivo de papa una superficie de 4036.50 hectáreas, con un rendimiento promedio de 26.71 toneladas por hectárea (SIAP 2010), ubicándose como el sexto estado productor de este cultivo en el país.

El tizón tardío (*Phytophthora infestans*) es reconocido como la principal enfermedad a nivel mundial en el cultivo de papa, ocasionando pérdidas económicas por 2.75 billones de dólares anuales (Salazar *et al.* 2009). El 80 % de los fungicidas utilizados en el cultivo de papa se destinan para controlar a *Phytophthora infestans*. Entre los fungicidas más utilizados contra este patógeno destacan el grupo de las fenilamidas, al cual pertenece el metalaxil, cuyas propiedades químicas le confieren alto peligro por su facilidad para dispersarse y contaminar los cuerpos de agua; el grupo de los aromáticos policlorados y el grupo de las imidazolinonas, a los cuales pertenecen el clorotalonil y el fenamidone, respectivamente, los que tienen gran afinidad por los suelos, lo que los hace residuos recalcitrantes (WHO 2009). Existen diversas técnicas para remover estos contaminantes, una de ellos es la electrorremediación que tiene un gran potencial debido a que se obtienen eficiencias mayores al 90 % de descontaminación de compuestos orgánicos e inorgánicos con un costo entre 230 y 675 pesos MXN por tonelada de suelo (Loo y Chilingar 1997). El objetivo de este trabajo fue determinar los costos de remoción en suelo de los fungicidas

utilizados para el control de *Phytophthora infestans* en el cultivo de papa en Zinacantepec.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en el municipio de Zinacantepec (**Fig.1**), ubicado a los 19° 17' 00" de latitud norte y a los 99° 44' 00" de longitud oeste del meridiano de Greenwich, y a una altitud de 2740 msnm. Este municipio tiene una extensión de 30 868 hectáreas, de las cuales 19 440 pertenecen al Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT). Este municipio destina 611 hectáreas de temporal y 147 hectáreas de riego para el cultivo de papa, ubicándose como el segundo municipio productor en el Estado de México (SIAP 2010). La superficie estudiada se encuentra a una altitud entre los 3000 y los 3500 msnm.

Marco de muestreo de productores de papa

Se eligió a los productores por muestreo estratificado aplicando la metodología descrita por Scheaffer *et al.* (1986), clasificándolos de acuerdo con el sistema de producción: a) riego y b) temporal. Se encuestó a 43 productores de papa de un total de 71 productores del municipio de Zinacantepec, con base en la superficie sembrada de papa por productor, registrada en las bases de los Centros de Apoyo al Desarrollo Rural (CADER) y de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) del Estado de México. El estudio abarcó 181 hectáreas de temporal y 46 hectáreas de riego, todas incorporadas al PNNT.

Encuestas

Se utilizaron cuestionarios de preguntas abiertas y cerradas (Briones 1996) con tres secciones: económica (precio de mercado y costos de producción), productiva (superficie sembrada, rendimiento, número de ciclos de siembra, fertilización y riego) y prácticas de control del patógeno (fungicidas utilizados, dosis, frecuencia y modo de aplicación).

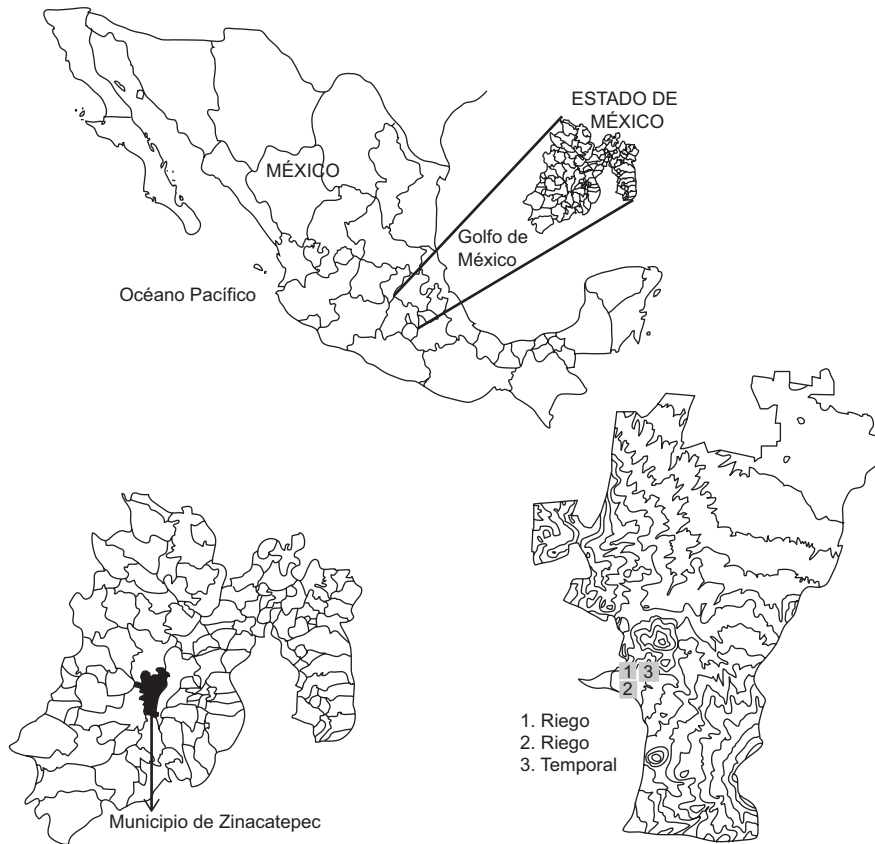


Fig. 1. Localización de los predios de papa estudiados. (Zinacatepec, Estado de México, México)

Cantidad de fungicidas utilizados

Para determinar la cantidad anual y excedentes de ingredientes activos utilizados, se investigó la composición y concentración de cada fungicida en el catálogo oficial de plaguicidas (CICOPLAFEST 2004), y la dosis recomendada para cada uno de estos por el Comité de Acción para la Resistencia a Fungicidas (FRAC 2011, por sus siglas en inglés), así como la superficie de siembra, la dosis de estos fungicidas utilizada en campo, la frecuencia de aplicación de los mismos y el sistema de producción (riego o temporal). La acumulación y destino de los fungicidas se determinó por recopilación de información de las siguientes propiedades para cada grupo químico que conforma el ingrediente activo: coeficientes de partición en materia orgánica (K_{OC}), constantes de adsorción (K_d), vidas medias ($t_{1/2}$) y categoría toxicológica.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante prueba de Tukey a nivel de significancia de 0.05, utilizando el paquete estadístico SAS versión 6.12 (SAS Institute 1998).

Análisis de costos por remoción de fungicidas en suelo

La estimación de los costos de remoción de contaminantes se determinó por analogía con los costos reportados en el proceso de electroremediación de suelos aplicado por la empresa Environmental & Technology Services en 1997 (Loo y Chilingar 1997), actualizados a valor presente de acuerdo con la inflación reportada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2011), considerando un alcance de acumulación de los fungicidas durante el ciclo de vida de la parcela de medio metro de profundidad y una densidad real del suelo de 1.33 kg/L (equivalente a 6.65 toneladas de suelo contaminado por hectárea).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los 43 productores entrevistados fueron hombres, con un rango de edad entre 40 y 65 años, y un mínimo de 1.0 ha destinada para la producción de papa. El análisis de las encuestas demostró que del total de las 227 hectáreas analizadas, en 136 ha se aplicaron los fungicidas en dosis arriba de lo recomendando,

CUADRO I. PROPIEDADES DE LOS FUNGICIDAS UTILIZADOS EN EL CULTIVO DE PAPA.

Grupo	KOC (mL g ⁻¹)	Kd (mL g ⁻¹)	t _{1/2} (d)	Categoría toxicológica ^a
Aromático policlorados	980 ^c	25 ^c	45 – 90 ^c	IV
Fenilamidas	0.42 ^c	0.177 - 0.843 ^c	48 – 100 ^c	IV
Carbamatos	10 – 160 ^c	0.07 - 8.74 ^c	29 ^b	II
Carboxamidas	97 ^b	Ind	14 ^c	IV
Ditiocarbamato	998 ^b	9.7 ^b	1 – 7 ^c	IV
Imidazolinona	52 ^b	Ind	90 ^b	IV

^aWHO (2009)^bUniversity of Hertfordshire (2007)^cMontgomery (1997)

Ind = Información no disponible

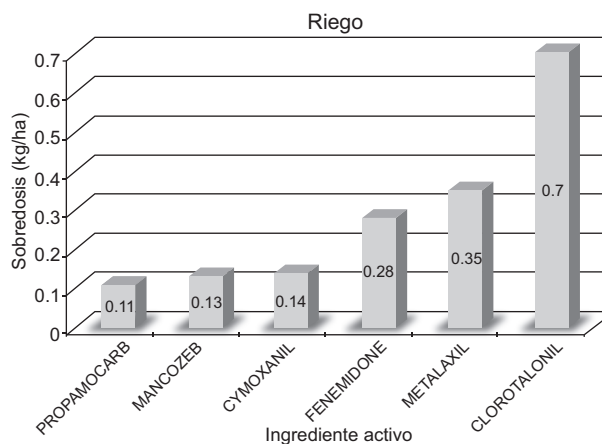
lo que representa el 60 % de la superficie agrícola analizada, en el 28.24 % de la superficie se aplican los fungicidas en la dosis recomendada y en el 11.76% se emplean dosis debajo de lo recomendado.

En 41.4 ha de riego destinada para la producción de papa (90 % de la superficie de riego analizada), se aplicaron fungicidas sistémicos directamente en el suelo para el control de *Phytophthora infestans*, y en el 60 % de la superficie de temporal, aún cuando el FRAC (2011) sugiere no realizar aplicaciones de fungicidas de acción sistémica en suelos por la presión de selección hacia las poblaciones resistentes a estos. En el caso de la aplicación de fungicidas en follaje, se observaron intervalos de aplicación de siete días en riego y cuatro en temporal con más de cuatro aplicaciones al año sin rotación del ingrediente activo, lo cual supera las recomendaciones del FRAC que sugiere intervalos mínimos de diez días y no más de dos aplicaciones al año. Nuestros resultados difieren de los reportados por Grünwald *et al.* (2001), quienes observaron en los años 1997 y 1998, en la misma zona de estudio, variaciones que van de dos a tres aplicaciones de fungicidas por temporada a una aplicación por semana, lo cual demuestra que el patrón de uso de los fungicidas se ha intensificado.

La información recopilada sobre el uso de fungicidas para el control de tizón tardío en el municipio de Zinacantepec reveló que los utilizados provienen de seis grupos químicos (**Cuadro I**). Dentro de estos destacan los carbamatos y las carboxamidas, que por ser de baja persistencia y de vidas medias cortas, tienden a adsorberse y acumularse en la materia orgánica, por lo que se espera que presenten poco peligro de contaminar a los cuerpos de agua, pero sí alta persistencia en el tubérculo. El grupo químico de las fenilamidas, al cual pertenece el metalaxil, presenta coeficiente octanol-agua (K_{oc}) y constante de adsorción (K_d)

bajos y alta persistencia ($t_{1/2}$ alto), características que según la WHO (2009) implican mayor peligro por la facilidad para dispersarse y contaminar los cuerpos de agua. El grupo de los aromáticos policlorados y de las imidazolinonas, a los que pertenecen el clorotalonil y el fenamidone, respectivamente, presentan alta persistencia ($t_{1/2}$ alto), baja movilidad y tienen mayor afinidad por los suelos (WHO 2009).

En la **figura 2** se muestra, que el clorotalonil es el fungicida que alcanzó la más alta dosis en los predios de riego, con un excedente de 0.7 kg/ha de ingrediente activo, seguido por el metalaxil y el fenamidone con 0.35 y 0.28 kg/ha respectivamente. Además de lo anterior, el metalaxil y el clorotalonil fueron aplicados en el 90 % de la superficie total del cultivo de papa analizada, el fenamidone y el propamocarb en el 50 %, mientras que el cymoxanil y el mancozeb en el 35% (**Fig. 3**). En los predios de temporal el excedente de ingrediente activo de clorotalonil fue de 1.13 kg/ha (**Fig. 4**), para el metalaxil y el fenamidone de 0.65 y 0.52 kg/ha,

**Fig. 2.** Excedentes de fungicidas aplicados por hectárea en el cultivo del municipio de Zinacantepec en el ciclo de riego

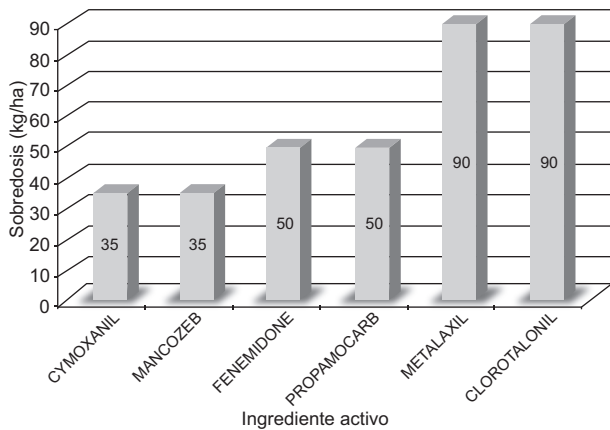


Fig. 3. Distribución de fungicidas por superficie destinada al cultivo de papa en el municipio de Zinacantepec

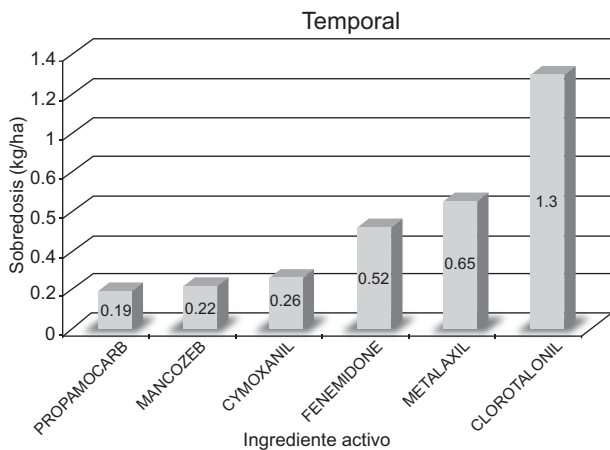


Fig. 4. Excedentes de fungicidas aplicados por hectárea en el cultivo del municipio de Zinacantepec en el ciclo de temporal

respectivamente, lo que representa el doble de los excedentes aplicados en los predios de riego. Los predios de temporal se ubican en las partes más altas de las zonas productoras de papa, por lo que se presenta contaminación difusa, ya que dadas las propiedades químicas del metalaxil, es fácil su lixiviación y arrastre desde las partes altas hasta los cuerpos de agua (Fig. 1). El clorotalonil fue aplicado en el 90 % de las parcelas analizadas y sus niveles de uso son superiores a los reportados por Guenther *et al.* (1999), quienes encontraron que en los Estados Unidos de América este compuesto fue aplicado en el 50 % de la superficie destinada al cultivo de papa, lo que demuestra que en la zona de estudio se siguen patrones de uso de fungicidas superiores a los de los países industrializados.

El análisis de varianza indicó que hay diferencias significativas en los rendimientos de producción de papa entre los dos sistemas de producción (riego y

temporal), así como entre los niveles de dosis de fungicida utilizados en cada uno de estos (Cuadro II). En los sistemas de producción de riego que aplican los fungicidas por arriba de lo recomendado se obtuvo un rendimiento promedio de 39.25 ton/ha, lo cual representa casi el doble de producción que se obtiene en sistemas de temporal que aplican los fungicidas en dosis debajo de lo recomendado por el FRAC (Cuadro II). El costo promedio de producción en los sistemas de temporal fue de 76 170.00 pesos MXN/ha y en riego de 68 153.90 pesos MXN/ha, esta diferencia se debe a la frecuencia con la que se aplican los fungicidas en cada sistema tal como fue mencionado anteriormente. Considerando un valor de mercado por kg de papa de 5.00 pesos MXN (SIAP 2010), el ingreso libre promedio por hectárea de riego aplicando los fungicidas en dosis arriba de lo recomendado fue de 128 096.10 pesos MXN, y en la de temporal de 49 130.00 pesos MXN bajo el mismo nivel de dosis empleada de fungicidas, pero con intervalos de aplicación más cortos. El 80 % de la superficie del ciclo agrícola de riego también produce papa en temporal, generando así dos ciclos de cultivo en el mismo predio, por lo que una hectárea de doble ciclo agrícola genera un ingreso libre promedio de 177 226.10 pesos MXN al año.

CUADRO II. RENDIMIENTO DE ACUERDO AL SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y NIVEL DE DOSIS DE FUNGICIDA UTILIZADA

Sistema de producción	Nivel de dosis		
	Debajo de lo recomendado	Recomendado	Arriba de lo recomendado
Riego	35.00 ^c	36.25 ^b	39.25 ^a
Temporal	20.00 ^f	22.00 ^e	25.06 ^d

Grupo Tukey: a, b, c, d, e, f

Nivel de significancia de 0.05

Para fines del presente estudio se consideró un costo de remediación de 410.00 pesos MXN por tonelada de suelo (valor medio de los costos reportados en el proceso de electroremediación de Loo y Chilingar 1997), y un alcance de contaminación de medio metro de profundidad, por lo que la remoción de los excedentes de fungicidas aplicados a los cultivos de papa tiene un costo de 2.73 millones de pesos MXN/ha. Si se calcula que el tiempo promedio de vida de las parcelas donde se cultiva papa empleando dosis de fungicidas superiores a las

recomendadas es de 15 años, se estima un ingreso libre máximo de 2.66 millones de pesos MXN/ha para ambos ciclos, lo cual no alcanza a cubrir los costos de remoción de estos fungicidas. Por otro lado, los sistemas de riego que aplican fungicidas en dosis inferiores a lo recomendado obtienen un ingreso libre anual de 106 846.10 pesos MXN/ha en el ciclo de riego y de 23 830.00 pesos MXN/ha para el ciclo de temporal. Los sistemas de producción de doble ciclo que aplican los fungicidas en dosis inferiores a las recomendadas tienen una vida media de producción de 25 años, tiempo en el cual se obtiene una ganancia total de 3.27 millones de pesos MXN/ha.

Sólo en 26.69 ha (11.76 % de la superficie analizada) se aplicaron los fungicidas en dosis inferiores a lo recomendado, lo que reduce su posible acumulación en el suelo y que por tanto no haya costos de remoción. En las 200.31 ha restantes (88.21 % de la superficie analizada) lo que se obtiene son pérdidas económicas por 546.85 millones de pesos MXN por remoción de fungicidas del suelo. El cultivo de papa abarca el 5.82 % (758 ha) del total de la superficie agrícola (13 002 ha) del municipio de Zinacantepec, y el hecho de que se utilice el mismo patrón de uso de los fungicidas en el total de hectáreas del cultivo de papa hace que las pérdidas económicas asciendan a 2069.34 millones de pesos MXN por concepto de remoción de fungicidas del suelo.

El área de estudio se encuentra localizada en los límites del PNNT, que además de ser un área natural protegida, provee el 30 % del agua de infiltración natural del acuífero de Toluca y 14 % adicional de agua a la Zona Metropolitana del Valle de México (SMAEDOMEX 2011). Los excedentes de fungicidas aplicados en el cultivo de papa representan un riesgo potencial a la salud pública, no sólo al consumir directamente el tubérculo contaminado por estos compuestos, sino también por la contaminación difusa que pueda existir en los cuerpos de agua.

CONCLUSIONES

El patrón de uso de los fungicidas para controlar *Phytophthora infestans* en papa en el municipio de Zinacantepec es insostenible. Esto debido a que los costos de remoción de los excedentes de fungicidas aplicados rebasan las ganancias que se obtienen durante el tiempo de vida productiva de los sistemas que aplican dosis superiores a lo recomendado.

El uso de los fungicidas en concentraciones superiores a los límites establecidos sugiere la necesidad de realizar monitoreo de vigilancia en los

cuerpos de agua. Así como realizar un monitoreo constante de las poblaciones de *Phytophthora infestans* con el fin de analizar si se presenta resistencia a los fungicidas.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de manutención otorgada a López Orona para la realización de sus estudios de Doctorado. A la Universidad Autónoma del Estado de México por el financiamiento al proyecto de investigación. A la Universidad Autónoma de Sinaloa por el apoyo otorgado a López Orona a través del Programa de Doctores Jóvenes. A los productores cooperantes del Municipio de Zinacantepec, Estado de México.

REFERENCIAS

- Briones G. (1996). Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales. ICSES. Bogotá, Colombia. 217 pp.
- CICOPLAFEST (2004). Catálogo oficial de plaguicidas. Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas. México D.F. 483 pp.
- FRAC (2011). Recomendaciones de uso de los fungicidas: Expert Fora Phenylamides. Fungicide Resistance Action Committee. [en línea]. <http://www.frac.info/frac/index.htm> 12/12/2011.
- Grünwald N. J., Flier W. G., Sturbaum A. K., Garay E., van den Bosch T. B. M., Smart C. D., Matuszak J. M., Lozoya H., Turkensteen L. J y Fry W. E. (2001). Population structure of *Phytophthora infestans* in the Toluca valley region of central Mexico. *Phytopathol.* 91, 882-890.
- Guenther J. F., Wiese M. V., Pavlista A. D., Siczka J. B y Wyman J. (1999). Assessment of pesticide use in the U.S. potato industry. *Am. J. Potato Res.* 76, 25-29.
- INEGI (2011). Índice de inflación. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Banco de información económica [en línea]. <http://dgcnesyp.inegi.org.mx/cgi-win/bdieintsi.exe/NIVA050500001000200120#ARBOL> 10/10/2011.
- Loo W.W. y Chilingar G.V. (1997). Advances in the electrokinetic treatment of hazardous waste in soil and groundwater. HAZMACON 97, Santa Clara, California, pp. 1-15.
- Montgomery J.H. (1997). *Agrochemicals desk reference*. 2a ed., Lewis Publishers, Boca Raton. Nueva York, EUA. 656 pp.

- Salazar L., Winters P., Maldonado L., Hareau G. y Thiele G. (2009). Assessing the impact of late blight resistant varieties on smallholders' potato production in the Peruvian Andes. International Potato Center (CIP), Lima, Perú. 30 pp.
- SAS Institute. (1998). SAS/STATR User's Guide. Release 6.03 edition. SAS Institute Inc. Cary. Carolina del Norte, EUA. 364 pp.
- Scheaffer R. L., Mendenhall W. y Ott L. (1987). *Elementos de muestreo*. 3a ed. Iberoamericana. Distrito Federal, México. 321pp.
- SIAP (2010). Cierre de la producción agrícola: tabla producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [en línea]. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350 10/03/2011.
- SMAEDOMEX (2011). Propuesta de recategorización y decreto del parque nacional nevado de Toluca. Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México. Gobierno del Estado de México. Toluca. 83 pp.
- University of Hertfordshire (2007). Base de datos de las propiedades de plaguicidas [en línea]. http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/es_03/06011.
- WHO (2004). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2000-2002. International Programme on Chemical Safety, Interorganization Programme for the Sound Management of Chemicals. World Health Organization. Ginebra. 60 pp.
- WHO (2009). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification: 2009. World Health Organization. Stuttgart. 78 pp.