

RIQUEZA DE PAPAS SILVESTRES (*Solanum* sección *Petota*) Y PATRONES DE DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA EN MÉXICO

SPECIES RICHNESS OF WILD POTATOES (*Solanum* section *Petota*) AND GEOGRAPHIC DISTRIBUTION PATTERNS IN MEXICO

Rodríguez, A.

Herbario Luz María Villarreal de Puga, Instituto de Botánica, Departamento de Botánica y Zoolo-
gía, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Km
15.5 carretera Guadalajara-Nogales, Las Agujas, 45200 Zapopan, Jalisco, México.

Autor responsable: rca08742@cucba.udg.mx

RESUMEN

México es un centro de diversificación de papas silvestres. Las plantas son importantes porque producen tubérculos comestibles y son fuente de resistencia a plagas, enfermedades y estrés ambiental. Por otra parte, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) valoran la diversidad biológica de un territorio, analizan características morfológicas en un contexto geográfico y muestran sitios geográficos con la mayor riqueza de plantas con características deseables. Utilizando SIG, se analizó la riqueza de papas silvestres en México dividido por estados, provincias biogeográficas y una cuadrícula de 40x40 km. 28 especies crecen en México y 21 están localizadas a lo largo del Eje Volcánico Transmexicano (EVT), en Jalisco, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, Estado de México, Puebla y Distrito Federal. En Michoacán, dos celdas contienen entre 14 y 16 especies cada una. Por último, la historia evolutiva de Solanaceae y geológica el EVT explica la distribución y riqueza de papas silvestres en México.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, Eje Volcánico Transmexicano, papas silvestres

ABSTRACT

México is a diversification center for wild potatoes. The plants are important because they produce edible tubers and are a source of resistance to plagues, diseases and environmental stress. On the other hand, Geographic Information Systems (GIS) evaluate the biological diversity of a territory, analyze the morphological characteristics within a geographic context, and show the geographic sites with the greatest wealth of plants with desirable characteristics. The wealth of wild potatoes in México was analyzed using GIS, divided by states, biogeographical provinces, and a 40x40 grid. In México, 28 species grow and 21 are located along the Trans-Mexican Volcanic Belt (Eje Volcánico Transmexicano, EVT), in Jalisco, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, Estado de México, Puebla and Distrito Federal. In Michoacán, two cells contain between 14 and 16 species each. Finally, the evolutionary history of Solanaceae and geological history of the EVT explain the distribution and wealth of wild potatoes in México.

Keywords: Geographic Information Systems, Trans-Mexican Volcanic Belt, wild potatoes.



INTRODUCCIÓN

Las papas silvestres (*Solanum* sección *Petota*: Solanaceae) crecen desde el suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica, a 38° de latitud Norte, hasta el sur de Chile, en los 41° de latitud Sur (Hijmans y Spooner, 2001). La mayoría de las especies crecen en los Andes, pero México es también un centro de diversificación (Spooner *et al.*, 2004). Las papas silvestres mexicanas son importantes, ya que los tubérculos de *Solanum cardiophyllum* Lindl. (Figura 1) y *S. ehrenbergii* (Bitter) Rydb. se utilizan como alimento humano en el altiplano potosino zacatecano (Rodríguez y Villa-Vázquez, 2010). La zona de mayor tradición por su consumo se localiza en la confluencia de los estados de Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, San Luis Potosí y Zacatecas. También, los tubérculos de *S. stoloniferum* Schlttdl. se comen en el noreste del estado de Jalisco (Villa-Vázquez y Rodríguez, 2010).

Mejor aún, las especies mexicanas y silvestres de papa tienen gran valor en los programas de mejoramiento genético. Son importantes como fuente de resistencia a plagas, enfermedades y estrés ambiental; por ejemplo, el tizón tardío, causado

por *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, es la enfermedad fungosa más severa en papa y algunas especies silvestres mexicanas muestran resistencia en hojas y tubérculos a este patógeno (Bamberg *et al.*, 1994; Bamberg y del Río, 2007). *Solanum demissum* Lindl. fue utilizado extensivamente en la década de 1940 por su resistencia al tizón tardío y, de acuerdo con Ross (1986), 50% de las variedades comerciales de papa cultivadas en el mundo tienen material genético de *S. demissum*. Otras especies que han mostrado dicha resistencia son: *S. bulbocastanum* Dunal, *S. cardiophyllum* Lindl., *S. ehrenbergii* (Bitter) Rydb., *S. guerreroense* Correll, *S. polyadenium* Greenm., *S. pinnatisectum* Dunal, *S. stoloniferum* Schlttdl., *S. trifidum* Correll y *S. verrucosum* Schlttdl. (Bamberg *et al.*, 1994; Chen *et al.*, 2003; Zlesak y Thill, 2004; Yermishin *et al.*, 2007). *Solanum stoloniferum* también es resistente al virus "Y" de la papa (Pavek y Corsini, 2001). De manera similar, *S. bulbocastanum* y *S. hougasii* Correll tienen resistencia al nemátodo de la papa, una enfermedad difícil de combatir sin resistencia genética (Brown, 1993). Brown *et al.* (2013) descubrieron la resistencia al nemátodo agallador de Columbia en *S. bulbocastanum*, *S. stoloni-*

ferum y *S. hougasii*. También, Chen *et al.* (2003; 2004) evaluaron la resistencia de *S. bulbocastanum*, *S. cardiophyllum* y *S. pinnatisectum* al escarabajo de Colorado y pata negra. Además, y de acuerdo con Vega y Bamberg (1995), *S. demissum* es la tercera especie con mayor resistencia a heladas y *S. cardiophyllum* resiste la sequía (Villa-Vázquez y Rodríguez, 2010). Por último, Culley *et al.* (2002) descubrieron resistencia al daño mecánico de los tubérculos durante el manejo post-cosecha en *S. hjertingii* Hawkes.

Las especies mexicanas de papa son las más primitivas y diversas (Hawkes, 1990), de tal forma que poseen alelos raros o ausentes en los taxones de América del Sur. Varios autores (Ross, 1986; Hanne-man, 1989; Plaisted y Hoopes, 1989; Spooner y Bamberg, 1994; Love, 1999; Pavek y Corsini, 2001; Bradshaw y Bonierbale, 2010) revisaron el uso de germoplasma silvestre para el desarrollo y el mejoramiento de cultivares de papa, y todos coinciden en la necesidad de conocer, recolectar, caracterizar y evaluar a las especies silvestres de este importante cultivo.

Una herramienta versátil para valorar la diversidad biológica de un



Figura 1. Flor, fruto y tubérculo de *Solanum cardiophyllum*, una papa silvestre mexicana, comestible en el altiplano potosino-zacatecano.

territorio de forma rigurosa, fácil, rápida y relativamente económica son los Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales evalúan la riqueza y estiman las áreas de distribución geográfica de las especies (Hijmans y Spooner, 2001). Son útiles para analizar las características morfológicas en un contexto geográfico. También, muestran los sitios geográficos que presentan la mayor riqueza de plantas con las características deseables. En el caso de papas silvestres, Hijmans y Spooner (2001) analizaron su distribución geográfica e identificaron seis áreas de alta concentración de especies. Una de ellas se localizó en el Estado de México y en Michoacán a lo largo del Eje Volcánico Transmexicano (EVT). Después, Luna-Cavazos *et al.* (2012) relacionaron la distribución geográfica de las papas silvestres mexicanas con factores climáticos, reflejando que el EVT concentró el mayor número de especies. Con base en lo anterior, se evaluó la distribución geográfica y la riqueza de las especies de papa silvestre (*Solanum* sección *Petota*) en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se construyó una base de datos a partir de la información disponible en las etiquetas de los ejemplares de herbario. Los datos se agruparon en cuatro categorías: 1) datos taxonómicos, incluidos familia, género, epíteto específico, autor, variedad y autor de la variedad; 2) datos geográficos, como país, estado, municipio, localidad, altitud, latitud y longitud; 3) datos ecológicos tales como hábitat, observaciones y fecha de colecta; y 4) datos curatoriales, como nombre y número del colector, nombre del determinador y nombre de la colección. Se revisaron ejemplares de 86 herbarios mexicanos y extranjeros. También se incluyeron 166 colectas realizadas con la ayuda económica del Sistema Nacional de Recursos Fito-genéticos (SINAREFI-SNICS-SAGARPA) desde 2003. Los registros carentes de datos de latitud, longitud y altitud fueron geo-referidos utilizando el programa de cómputo Google Earth Software 4.2. Para utilizar la información, la base de datos fue convertida a un formato compatible con un SIG (Hijmans *et al.*, 1999) mediante el programa de cómputo ArcView 3.3 (ESRI, 1992-2002). Se analizó la riqueza de las especies por estado, provincia biogeográfica (Morrone, 2005; 2010) y una cuadrícula de 40×40 km, utilizando los programas de cómputo ArcView 3.3 (ESRI, 1992-2002) y DIVA-GIS versión 4 (Hijmans *et al.*, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvo una matriz de datos con 2,850 registros, de los cuales 1,076 (37%) fueron geo-referidos. Su análisis permitió las siguientes observaciones. En México crecen 28 especies (Figura 2).

El mayor número de registros perteneció a *Solanum stoloniferum* con 738 registros (Figura 3); en contraste, *S. guerreroense* y *S. bulbocastanum*×*S. cardiophyllum* se recolectaron en tres ocasiones cada una (Figura 4). El Estado de México concentró el número más alto de registros, con 491, mientras que el estado de Sinaloa tuvo el valor más bajo con tres (Figura 5). Dieciséis especies fueron recolectadas en Michoacán y Querétaro, mientras que en Jalisco y el Estado de México se registraron 15 y 14 especies, respectivamente, y *Solanum stoloniferum* fue la única encontrada en Baja California Sur (Figura 5).

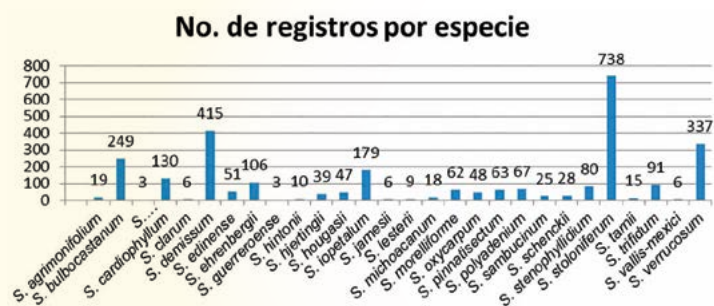


Figura 2. Número de registros de 28 especies en México de papas silvestres: *Solanum stoloniferum*; *S. guerreroense* y *S. bulbocastanum*×*S. cardiophyllum*.



Figura 3. Distribución de *Solanum stoloniferum* en México, como la especie más frecuente.

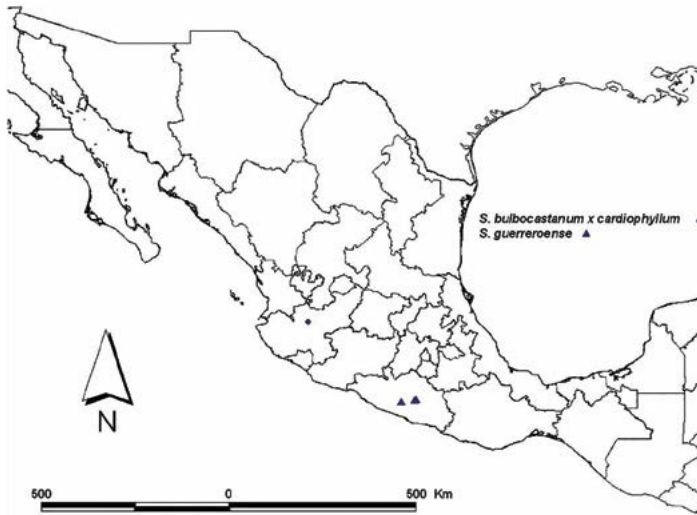


Figura 4. Distribución de *Solanum bulbocastanum* x *S. cardiophyllum* y *S. guerroense*.



Figura 5. Las papas silvestres mexicanas (*Solanum* spp.) recolectadas con mayor frecuencia en el Estado de México, y tres registros en Sinaloa.

En México, la riqueza de especies de papa silvestre no es homogénea. Morrone (2005) reconoció 14 provincias biogeográficas en México agrupadas en dos regiones y una zona de transición. La Zona de Transición Mexicana (ZTM) incluyó a la Sierra Madre Occidental (SMOc), la Sierra Madre Oriental (SMOr), el Eje Volcánico Transmexicano, la Sierra Madre del Sur (SMS) y Chiapas (Ch) (Morrone, 2010).

La mayor riqueza de especies de papa silvestre se localizó a lo largo del EVT en los estados de Jalisco, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, México, Puebla y Distrito Federal (Fi-

gura 6). En la zona crecen 21 especies; prefieren altitudes entre 1500 y 3500 m donde crece el bosque de coníferas y *Quercus* spp. (zona ZTM) (Figura 7).

El análisis de la riqueza de *Solanum* sección *Petota*, basado en la cuadrícula de 40x40 km, identificó con más detalle las regiones más ricas (Figura 8). Se obtuvieron dos celdas que contienen entre 14 y 16 especies cada una y están localizadas en Michoacán; otras siete celdas, con 12 y 13 especies cada una, fueron ubicadas en Jalisco (1), Michoacán (3), Querétaro (1), Estado de México (1) y Puebla (1) a lo largo del EVT. La historia evolutiva de Solanaceae y la historia geológica del EVT pueden explicar la distribución y riqueza de papas silvestres en este último. En Solanaceae, papas y jitomates compartieron al ancestro común más próximo (Spooner et al., 2005). Wang et al. (2008) estimaron su divergencia entre 5.1 y 7.3 millones de años en el pasado y durante ese tiempo el EVT estuvo en plena formación; de acuerdo con Gómez-Tuena et al. (2005), el proceso se desarrolló en cuatro etapas: la primera inició hace 19 millones de años (ma) durante el Mioceno medio y terminó hace 8 ma durante el Mioceno tardío. Incluyó a la parte oriental del EVT a partir de Morelia y Querétaro y hasta el Golfo de México. El segundo episodio modificó a todo el EVT en su porción norte, iniciando hace 11 ma durante el Mioceno tardío y se extendió hasta el Plioceno hace 3 ma (Gómez-Tuena et al., 2005). El tercero fue un vulcanismo silícico y bimodal que afectó al occidente y centro de la EVT, justo al sur

del episodio anterior. Se desarrolló desde los 7.5 ma hasta los 3 ma en el pasado. Por último, durante la cuarta etapa se observó un arco volcánico muy variable desde el Plioceno tardío hasta el Cuaternario (Ferrari et al., 2012). En resumen, la formación del EVT generó la diversidad topográfica del centro de México, modificó su clima y favoreció la diversidad vegetal, incluidas las papas silvestres. El origen de las papas silvestres está sujeto a



Figura 6. En Michoacán y Querétaro crecen el mayor número de especies de papa silvestre.

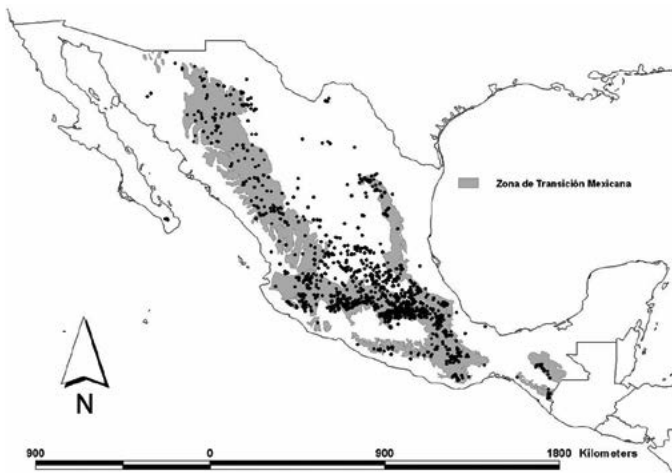


Figura 7. Las papas silvestres mexicanas (*Solanum* spp.) crecen, con mayor frecuencia, en las montañas de la Zona de Transición Mexicana (ZTM).

discusión; Hawkes (1990) sostiene que se originaron en Norte y Centro América como especies diploides y genoma tipo B, las cuales habrían migrado hacia América del Sur, donde evolucionó el genoma tipo A. Otro evento de migración con dirección norte habría generado las especies alopoliploides de Norteamérica (A×B). Wang *et al.* (2008) estimaron que la berenjena, el jitomate y la papa compartieron al mismo ancestro común hace 14 ma, y que el jitomate y la papa se separaron uno del otro hace 7.3 ma, periodo en el cual la migración pudo haber ocurrido. Como alternativa, Simon *et al.* (2011) sugieren que *Solanum* sección *Petota* apareció en América del Sur; su hipótesis se basa en el hecho de que el grupo hermano de las papas silvestres (*Solanum* sección *Lycopersicon* y *Solanum* sección *Juglandifolium*) tienen una distribución geográfica en América del Sur (Spooner *et al.*, 2008).

CONCLUSIÓN

México es un centro de diversificación de los *Solanum* tuberíferos; se trata de un grupo de plantas de ambientes templados y concentrados en la Zona de Transición Mexicana, notando que la formación del EVT favoreció su diversificación.

AGRADECIMIENTOS

Esta contribución es resultado de las actividades de la Red de Papa. Agradecemos el apoyo financiero para el desarrollo de esta investigación al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y Agricultura (SINAREFI), a través del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). También expresamos nuestro agradecimiento a Marco Antonio Carrasco Ortiz por su ayuda en la geo-referenciación de los registros y su análisis.

ción y Certificación de Semillas (SNICS) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). También expresamos nuestro agradecimiento a Marco Antonio Carrasco Ortiz por su ayuda en la geo-referenciación de los registros y su análisis.

LITERATURA CITADA

- Bamberg J.B., del Río A.H. 2007. The canon of potato science: genetic diversity and genebanks. *Potato Research* 50: 207-210
- Bamberg J.B., Martin M.W., Schartner J.J. 1994. Elite selections of tuber-bearing *Solanum* species germplasm. Inter-Regional Potato Introduction Station, NRSP-6. United States Department of Agriculture.
- Bradshaw J.E., Bonierbale M. 2010. Potatoes. In: Root and tuber crops, Handbook of plant breeding 7, Braeshaw J.E. (Ed.). Springer Sciences-Business Media. New York, EUA. Pp. 1-52
- Brown C.R. 1993. Origin and history of the potato. *American Potato Journal* 70: 363-373
- Brown C.R., Zhang L., Mojtahedi H. 2014. Tracking the RMc1 gene for resistance to Race 1 of Columbia root-knot nematode (*Meloidogyne chitwoodi*) in three Mexican wild potato species

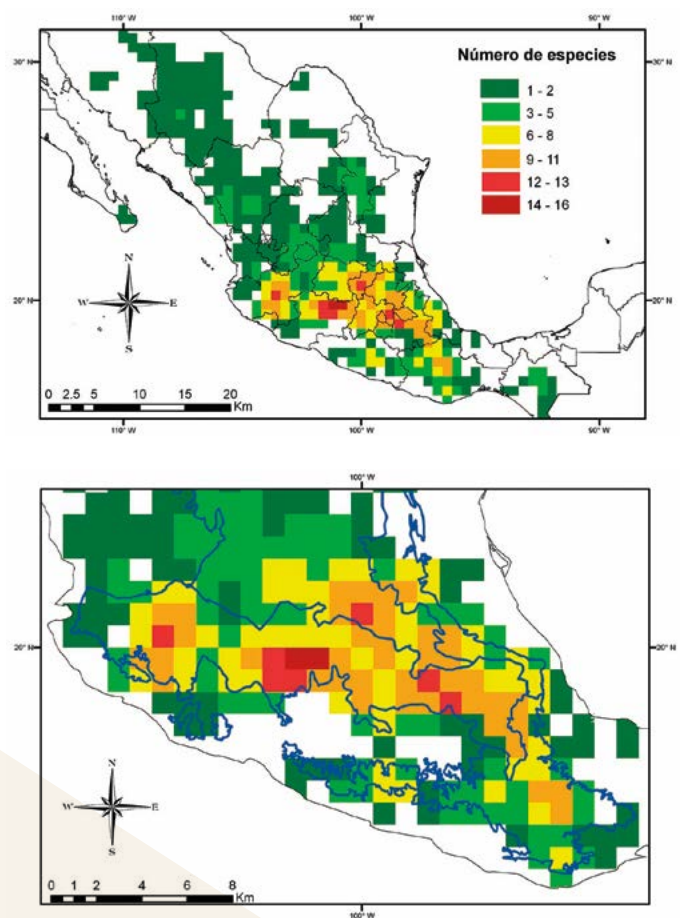


Figura 8. Análisis de riqueza de especies de *Solanum* sección *Petota*, con base en una cuadrícula de 40×40 km, muestra al Eje Volcánico Transmexicano como la zona más rica en especies.

- with different ploidies. *American Journal of Potato Research* 91: 180-185
- Chen Q., Kawchuk L.M., Lynch D.R., Goettel M.S., Fujimoto D.K. 2003. Identification of late blight, Colorado potato beetle, and blackleg resistance in three Mexican and two South American wild 2x (1EBN) *Solanum* species. *American Journal of Potato Research* 80: 9-19
- Chen Q., Sun S., Ye Q., McCuine S., Huff E., Zhang H.B. 2004. Construction of two BAC libraries from the wild Mexican diploid potato, *Solanum pinnatisectum*, and the identification of clones near the late blight and Colorado potato beetle resistance loci. *Theoretical and Applied Genetics* 108: 1002-1009
- Culley D.E., Dean B.B., Brown C.R. 2002. Introgression of the low browning trait from the wild Mexican species *Solanum hjertingii* into cultivated potato (*S. tuberosum* L.). *Euphytica* 125: 293-303
- ESRI. 1992-2002. ArcView 3.3. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, California, EUA.
- Ferrari L., Orozco-Esquivel T., Manea V., Manea M. 2012. The dynamic history of the Trans-Mexican Volcanic Belt and the Mexico subduction zone. *Tectonophysics* 522-523: 122-149
- Gómez-Tuena A., Orozco-Esquivel M.T., Ferrari L. 2005. Petrogénesis ígnea de la Faja Volcánica Transmexicana. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 57: 227-283
- Hanneman R.E.Jr. 1989. The potato germplasm resource. *American Potato Journal* 66: 655-667
- Hawkes J.G. 1990. The potato: evolution biodiversity and genetic resources. Belhaven Press, Washington, DC. EUA. 259 p
- Hijmans R.J., Guarino L., Bussink C., Mathur P., Cruz M., Barrantes I., Rojas E. 2004. DIVA-GIS versión 4. Un Sistema de Información Geográfica para el análisis de distribución de especies. Manual. Centro Internacional de la Papa, Instituto Internacional de Recursos Genéticos Vegetales. Lima, Perú. 84 p
- Hijmans R.J., Schreuder M., De la Cruz J., Guarino L. 1999. Using GIS to check co-ordinates of germplasm accessions. *Genetic Resources and Crop Evolution* 46: 291-296
- Hijmans R.J., Spooner D.M. 2001. Geographic distribution of wild potato species. *American Journal of Botany* 88: 2101-212
- Love S.L. 1999. Founding clones, major contributing ancestors, and exotic progenitors of prominent North American potato cultivars. *American Journal of Potato Research* 76: 263-272
- Luna-Cavazos M., Romero-Manzanares A., García-Moya E. 2012. Distribución geográfica de *Solanum* tuberosos silvestres de México y su relación con factores del medio. *Interciencia* 37: 355-362
- Morrone J.J. 2005. Hacia una síntesis biogeográfica de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 76: 207-252
- Morrone J.J. 2010. Fundamental biogeographic patterns across the Mexican Transition Zone: an evolutionary approach. *Ecography* 33: 355-361
- Pavek J.J., Corsini D.L. 2001. Utilization of potato genetic resources in variety development. *American Journal of Potato Research* 78: 433-441
- Plaisted R.L., Hoopes R.W. 1989. The past record and future prospects for the use of exotic potato germplasm. *American Potato Journal* 66: 603-627
- Rodríguez A., Villa-Vázquez J.J. 2010. Catálogo de las áreas en México donde se aprovechan los tubérculos de papa silvestre (*Solanum cardiophyllum* y *S. ehrenbergii*). *Red de Papa. Folleto Técnico* 1: 1-27
- Ross H. 1986. Potato breeding-problems and perspectives. *Advanced Plant Breeding* 13: 1-132
- Simon R., Fuentes A.F., Spooner D.M. 2011. Biogeographic implications of the striking discovery of a 4,000 kilometer disjunct population of the wild potato *Solanum morelliforme* in South America. *Systematic Botany* 36: 1062-1067
- Spooner D.M., Bamberg J.B. 1994. Potato genetic resources: sources of resistance and systematics. *American Potato Journal* 71: 325-337
- Spooner D.M., Peralta I.E., Knapp S. 2005. Comparison of AFLPs with other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes [*Solanum* L. Section *Lycopersicon* (Mill.) Wettst.]. *Taxon* 54: 43-61
- Spooner D.M., Rodríguez F., Polgár Z., Ballard H.E.Jr., Jansky S.H. 2008. Genomic origins of potato polyploids: GBSSI gene sequencing data. *Crop Science* 48 (S1): S27-S36
- Spooner D.M., van den Berg R.G., Rodríguez A., Bamberg J.B., Hijmans R.J., Lara-Cabrera S. 2004. Wild potatoes (*Solanum* section *Petota*; Solanaceae) of North and Central America. *Systematic Botany Monographs* 68: 1-209
- Vega S.E., Bamberg J.B. 1995. Screening the US potato collection for frost hardiness. *American Potato Journal* 72: 13-21
- Villa-Vázquez J.L., Rodríguez A. 2010. Hallazgo de papas silvestres [*Solanum cardiophyllum* Lindl., *S. ehrenbergii* (Bitter) Rydb. y *S. stoloniferum* Schldtl.] cultivadas en Jalisco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 85-88
- Wang Y., Diehl A., Wu F., Vrebalov J., Giovannoni J., Siepel A., Tanksley S.D. 2008. Sequencing and comparative analysis of a conserved syntenic segment in the Solanaceae. *Genetics* 180: 391-408
- Yermishin A.P., Makhan, O.V., Voronkova E.V. 2007. Production of potato breeding material using somatic hybrids between *Solanum tuberosum* L. dihaploids and the wild diploid species *Solanum bulbocastanum* Dunal from Mexico. *Russian Journal of Genetics* 44: 559-566
- Zlesak D.C., Thill C.A. 2004. Foliar resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary (US-8) in 13 Mexican and South American *Solanum* species having EBNs of 1, 2, and 4 and implications for breeding. *American Journal of Potato Research* 81: 421-429