

Vigilancia Epidemiológica y Estatus Actual del Amarillamiento Letal del Cocotero, Punta Morada de la Papa y Huanglonbing de los Cítricos (HLB) en México

Mora-Aguilera, G.¹, Flores-Sánchez, J.¹, Acevedo-Sánchez, G.¹, Domínguez-Monge, S.¹, Oropeza-Salin, C.², Flores-Olivas, A.³, González-Gómez, R.⁴ y Robles-García, P.⁵; ¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo-Fitopatología, Texcoco, Edo. de México. ²Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C. Mérida, Yucatán. ³Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. ⁴Centro Nacional de Referencia Epidemiológica Fitosanitaria (CNRF)- DGSV. México, D.F. ⁵Dirección de Protección Fitosanitaria-DGSV. México, D.F. Correspondencia: morag@colpos.mx

La sustentabilidad productiva agrícola de un país se concibe en la actualidad como un activo estratégico en el desarrollo de las economías y la seguridad alimentaria. En este contexto, gradualmente la fitosanidad está adquiriendo el reconocimiento de prioridad nacional con el consecuente desarrollo de sistemas de vigilancia epidemiológica que permitan potenciar la prevención como estrategias de manejo fitosanitario. En años recientes, agentes patogénicos de acción vascular-sistémico en sus hospederos y asociados a insectos vectores han causado epidemias de alta intensidad en un ámbito regional. Esto ha implicado la movilidad de agentes microbiológicos a nivel continental con efectos en algunos casos devastadores. Dentro de este tipo de agentes patogénicos destacan microorganismos procariontes, i. e. organismos sin pared nuclear con DNA citoplásmico. Esto se puede explicar por su condición genérica de exhibir un parasitismo obligado; un talo unicelular adaptado a condiciones forética vía vector; una condición sistémica, principalmente asociados al floema, causando infecciones crónicas con gradual detrimento productivo en el caso de hospederos perennes o en aquellos con sucesión estacional mediante propagación vegetativa; y, disponibilidad de inóculo permanente en el hospedante cultivado y/o en la combinación con hospederos secundarios.

En México, epidemias causadas por organismos procariontes destacan el amarillamiento letal del cocotero (ALC), inducido por el fitoplasma del Amarillamiento Letal del Cocotero (Grupo de especies 16SrIV- Coconut Lethal Yellowing Group); el huanglonbing de los cítricos (HLB), causado por tres especies: *Candidatus Liberibacter africanus* (CLaf), *Candidatus Liberibacter americanus* (CLam) y *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas), este último, es el reportado en México y, la Punta Morada de la Papa (PMP). En el caso de PMP, se reportan asociados dos organismos: el fitoplasma de la Punta Morada de la Papa (Grupo de especies 16SrII Peanut WB Group) (NCBI, 2013) y la bacteria *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CLs), esta última asociada a la enfermedad conocida como zebra chip.

El ALC se detectó en México a finales de la década de los 70's, causando una mortalidad devastadora de aproximadamente 700 mil plantas de cocoteros (*Cocos nucifera*) en el Caribe Mexicano (Góngora-Canul *et al.*,

2004; Pérez-Hernández *et al.*, 2004) y 7.9 millones de plantas en toda la región caribeña (Mora y Hernández, 2005. Datos no publicados; Oropeza *et al.*, 2005). Esto implicó la restitución de cocoteros empleando materiales tolerantes como el enano Malayo que se usaban en jardinería, el cual es tolerante a este patógeno. Consecuentemente, todas las nuevas plantaciones fueron establecidas con enano malayo (Góngora-Canul *et al.*, 2004). Los síntomas típicos de ALC consisten en necrosis de la inflorescencia en desarrollo, caída de frutos pequeños, amarillamiento de las frondas iniciando por las inferiores, defoliación total y muerte. El agente causal se distribuye sistémicamente, incluso en el sistema raíz (Mora-Aguilera y Escamilla, 2001). Por otra parte, el HLB fue introducido a México en el 2009, ocasionando impactos socio-económicos y productivos importantes en la citricultura mexicana, particularmente en los agrios con pérdidas de 17.3 al 60 % (Robles-González *et al.*, 2013; Flores-Sánchez *et al.*, 2012; Esquivel-Chávez *et al.*, 2012;). Los síntomas de HLB en hoja consisten en moteado, manchas angulares asimétricas, engrosamiento de nervaduras, clorosis y defoliación; en fruto se exhibe crecimiento asimétrico, engrosamiento del albedo y necrosis de semillas (Esquivel-Chávez *et al.*, 2012). Así también, la PMP la cual es considerada como la segunda enfermedad de mayor importancia de la papa (*Solanum* sp.) después del Tizón tardío (Hernández-García *et al.*, 2010; Almeyda *et al.*, 2008; Rubi-Covarrubias *et al.*, 2006), se tienen registros de síntomas tipo PMP desde finales de los 40's, con un incremento en los últimos 10 años y con pérdidas hasta del 40 % en infecciones tempranas para fitoplasma (Hernández-García *et al.*, 2010). Los síntomas consisten en achaparramiento de la planta, engrosamiento y acortamiento entre nudos, tubérculos aéreos y eventualmente aparición de pigmentos morados en las hojas (Cadena *et al.*, 2003; Salas *et al.*, 2013). Los síntomas de Zebra chip son similares a los de PMP con la adición de un bandeado en tubérculos (Munyanza, 2012).

Actualmente, el ALC, PMP y el HLB se encuentran distribuidos en la mayoría de los estados del país en los que se cultivan sus hospedantes principales (Figura 1). La distribución del ALC se encuentra principalmente asociada a ecotipos de *C. nucifera* denominados *Altos del Atlántico* con los registros epidemiológicos de mayor intensidad en los 80's. La devastación en la Península de Yucatán

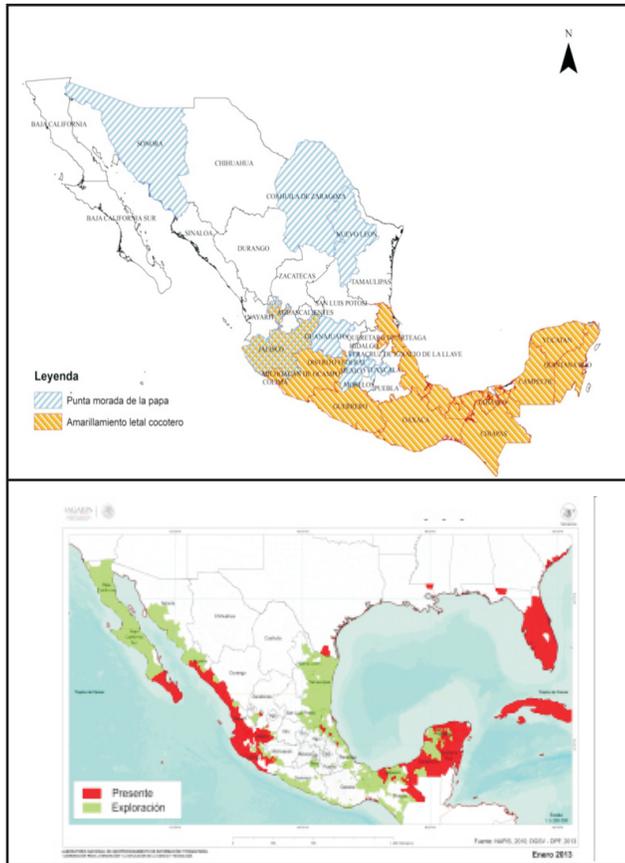


Figura 1. **A)** Distribución de PMP y ALC en México. Fuente: Elaboración propia y **B)** Distribución del HLB en México (SENASICA, Enero, 2013. GIIC, 2012).

aparentemente influyó en una drástica reducción de inóculo, limitando el progreso epidémico en el Golfo y resto del país. En el ecotipo *Altos del Pacífico* no se han registrado epidemias intensas pero si cambios en la velocidad y expresión de síntomas y la ocurrencia de variaciones genéticas del patógeno basadas en estudios de rDNA (Oropeza *et al.*, 2005). Esto representa un riesgo potencial que debe monitorearse debido a la importancia de la vertiente del Pacífico como zona productora de coco (Góngora-Canul *et al.*, 2004). El HLB exhibe hasta el presente dos escenarios epidémicos: la Península de Yucatán con baja intensidad epidémica y marcada influencia de traspatios urbanos y rurales, y la vertiente del Pacífico con epidemias de alta intensidad principalmente en limón mexicano y limón persa (Robles-González *et al.*, 2013; Flores-Sánchez *et al.*, 2012) (Figura 2). La PMP se encuentra distribuida en la zona centro y norte del país con aparente mayor ocurrencia en el noreste (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2006) (Figura 1).

Estos problemas fitosanitarios tienen en común la asociación con insectos vectores del orden Hemiptera y Homoptera. Dentro de estos, la familia Psyllidae y Citadellidae han sido recurrentemente asociados con estas enfermedades (Cuadro 1).

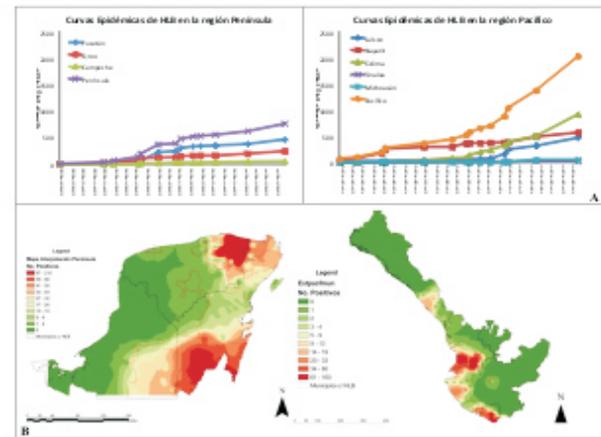


Figura 2. Escenarios epidémicos del HLB en la Península de Yucatán y Pacífico actualizada al 6 de mayo 2011. Al presente se mantiene con la incorporación de otros estados en ambas regiones (Ver Figura 1). **A)** Progreso temporal regional en tres estados y a nivel peninsular. **B)** Progreso espacial interpolado a nivel regional.

Los vectores asociados a ALC, HLB y PMP tienen aparentemente una capacidad adaptativa agroclimática amplia y comportamientos migratorios a medianas y grandes distancias, lo que explica su distribución regional (López-Arroyo y Cortez, 2013; Almeyda *et al.*, 2008; Rubio-Covarrubias *et al.*, 2006; Góngora-Canul *et al.*, 2004; Pérez-Hernández *et al.*, 2004) y a nivel continental (Salcedo *et al.*, 2010). En HLB y PMP se ha comprobado además la transmisión vegetativa, siendo particularmente importante en HLB a nivel de vivero y en PMP en la transmisión por tubérculo con porcentajes estimados de 40 % para fitoplasma y de 60 % para CLs bajo las condiciones de Nuevo León (Hernández-García *et al.*, 2010).

Los hábitos de colonización de estos vectores (Figura 3) determinan dinámicas poblacionales dependientes de flujos vegetativos, particularmente en los vectores asociados con PMP y HLB (López-Arroyo y Cortez, 2013; Almeyda *et al.*, 2008). En el caso de ALC las dinámicas dependen más de factores de precipitación y temperatura y de la existencia de hospedantes alternos para el desarrollo de los estados inmaduros del insecto, principalmente gramíneas.

El comportamiento migratorio de vectores y poblaciones altas en etapas fenológicas inductivas, explican las tasas epidémicas explosivas con incidencias finales (yf) de 80, 100 y 75 % para ALC, HLB y PMP, respectivamente (Cuadro 2). Similarmente, las tasas de dispersión son altas. Por ejemplo, a nivel regional en la Península de Yucatán, la distancia máxima de dispersión de ALC fue de 90 km/año ($r^2=0.72$) (Góngora-Canul *et al.*, 2004), mientras que en HLB fue de 80 km/año ($r^2=0.98$) (Flores-Sánchez *et al.*, 2011) (Cuadro 2 y Figura 4A). A nivel parcelario, en el caso de ALC las tasas de dispersión exhibieron patrones agregados con tendencias de borde y focos distribuidos en la

Cuadro 1. Características de los supuestos vectores asociados a los agentes causales de ALC, HLB y PMP.

Orden	Familia	Especie	Enfermedad	Tipo de Trasmisión	Trasmisión transovérica
Hemiptera	Psyllidae	<i>Bactericera cockerelli</i> ²	PMP	Persistente	+
		<i>Heterospsylla texana</i> ¹	PMP	S/I	S/I
		<i>Diaphorina citri</i>	HLB	Persistente	+
	Cixiidae	<i>Myndus crudus</i>	ALC	Persistente	+
Homoptera	Cicadellidae	<i>Circulifer tenellus</i>	PMP	Persistente	S/I
		<i>Aceratagalic spp.</i> ¹	PMP	S/I	S/I
		<i>Empoasca spp.</i> ¹	PMP	S/I	S/I

S/I= Sin Información

¹En estos vectores se ha encontrado su condición positiva por PCR pero no hay estudios de transmisión.

²Este vector se ha comprobado con pruebas de transmisión para el fitoplasma y únicamente se ha comprobado su propiedad positiva a CLs por técnicas moleculares.

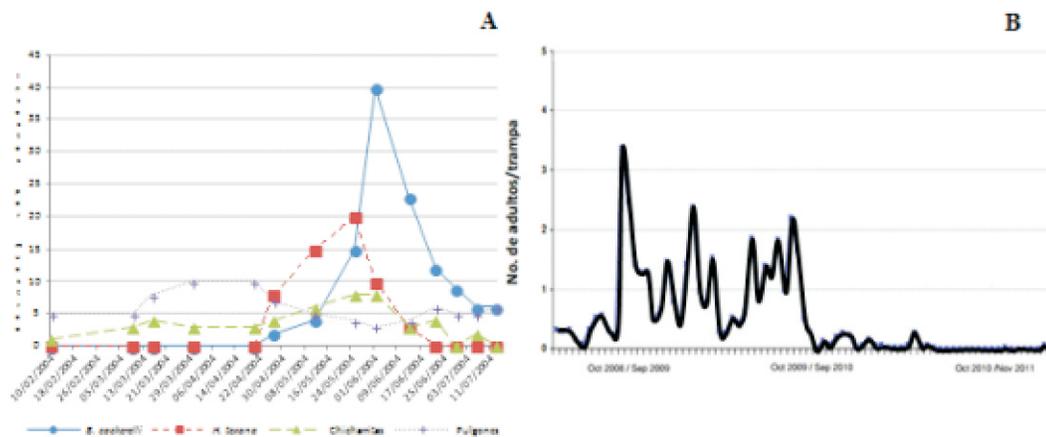


Figura 3. **A)** Incidencia poblacional de vectores de la punta morada de la papa en el Cristal, Nuevo León, durante 2003-04; **B)** Número de adultos de *D. citri* por trampa en tres ciclos de producción de naranja dulce en Nuevo León. Fuente: Almeyda *et al.*, 2008 y López-Arrollo y Cortez, 2013, respectivamente.

parcela con gradientes entre 48-312 m (Góngora-Canul *et al.*, 2004; Pérez-Hernández *et al.*, 2004) (Figura 4B). En el caso de HLB y PMP está bien documentado un fuerte efecto de borde con distancias entre 15-35 m, respectivamente (Robles-González *et al.*, 2013, Hernández-García *et al.*, 2010). En el caso de PMP, el efecto borde se confirmó para el fitoplasma y CLs.

El Programa de Vigilancia Epidemiológica ha incrementado el número de plagas de origen procarionte bajo monitoreo a nivel nacional con un total de 13 plagas a partir del 2010 (SINAVEF-CNRF, 2013), lo cual sugiere la relevancia actual de los problemas fitosanitarios inducidos por estos patógenos. Específicamente en ALC y HLB sus impactos epidémicos regionales han obligado en México al desarrollo de estrategias oficiales para la prevención y mitigación de riesgos. En el caso de ALC, se implementaron en los 90's acciones enmarcadas en las normas NOM-003-FITO-1995, NOM-015-FITO-1995 y NOM-067-FITO-1999. El énfasis principal fue establecer un programa de

erradicación de plantas visualmente enfermas. Sin embargo, las crecientes tasas epidémicas obligó a un cambio de estrategia basada en la integración de gradientes parcelarios-regionales y detección con PCR en un programa de muestreo y erradicación con criterios epidemiológicos (Mora-Aguilera y Escamilla-Bencomo, 2002). Actualmente, el programa se orienta a la sanidad general del cultivo y en materia de vigilancia se enfatiza el ácaro rojo (*Raoiella indica*) y picudo rojo (*Rhynchophorus ferrugineus*) pero no existe un monitoreo del estatus del ALC a nivel nacional.

En el caso del HLB, se implementó el “Acuerdo por el que se dan a conocer las medidas fitosanitarias que deberán aplicarse para el control del Huanglongbing (*Candidatus Liberibacter spp.*) y su vector” (DOF, 2010). En este se incluyen estrategias de certificación de material vegetal propagativo, muestreo, erradicación de plantas enfermas; control del vector y vigilancia de ocurrencia de focos e insectos positivos. A nivel piloto, en el 2012, se

Cuadro 2. Parámetros epidémicos comparativos, temporales y espaciales, asociados a ALC, HLB y PMP.

Enfer.	País	y0	yf	Periodo de incubación (km/año)	Distancia Dispersión /mes	Tasa de Dispersion	Progreso Epidémico ²	Fuente
ALC	México	28.4	38.4	4 meses	150	0.8	Exponencial	Mora-Aguilera y Escamilla, 2011
	Florida	0	80	S/I	S/I	1.05	Exponencial	
HLB	México	0	100	4 meses	80	6.13	Exponencial	Salcedo <i>et al.</i> , 2010
	Florida	5	100	12 meses	239	34.14	Exponencial	
	Brasil	0	72	7 meses	150	12.50	Exponencial	
PMP	México	0	75	12 - 39 días	S/I ¹	S/I	S/I	Salas <i>et al.</i> , 2013; Hernández-García <i>et al.</i> , 2010

¹S/I= Sin Información

²El progreso epidémico en PMP son parcelarios; en ALC y HLB el proceso epidémico es regional.

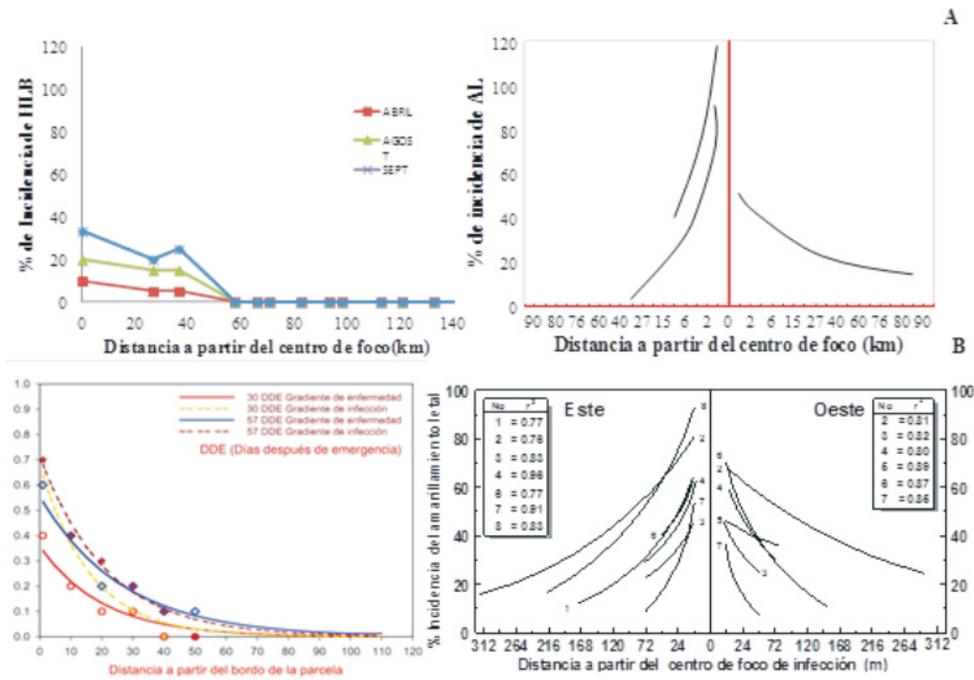


Figura 4. A) Gradiente de dispersión a nivel regional para el caso de HLB y ALC; y B) Gradiente de dispersión a nivel parcelario para el caso de PMP y ALC. Fuente: Flores-Sánchez *et al.*, 2011; Hernández-García *et al.*, 2010; y Góngora-Canul *et al.*, 2004.

implementaron en varios estados estrategias coordinadas por el área oficial consistente en un control regional del vector con insecticidas. La tendencia actual es el establecimiento de áreas regionales de control (ARCOS) de *D. citri* apoyado en un innovador programa regional de monitoreo del vector mediante un sistema de geoposicionamiento GPRS actualmente operado en 21 entidades federativas.

Para el caso de PMP no existen directrices específicas; sin embargo, se tienen normas nacionales que regulan la producción y movilidad de tubérculos debido a

otros problemas fitosanitarios (NOM-O25-FITO-2000 y NOM-O40-FITO-2001). Aunque posiblemente estas no apliquen para PMP por su actual amplia distribución nacional, sugieren la factibilidad de integrar en un marco normativo genérico este tipo de organismos en un esquema oportuno de toma de decisiones considerando que el tubérculo es un medio efectivo de dispersión del patógeno (Hernández-García *et al.*, 2010).

Conclusiones

El diseño y fortalecimiento de un sistema de

vigilancia es una estrategia viable para ALC, HLB y PMP. El HLB, en concordancia con su importancia en la productividad de la cadena citrícola, tiene actualmente un sistema de vigilancia con fines de manejo regional por medio del control del vector *D. citri*. Aunque en ALC y PMP se han desarrollado herramientas metodológicas de diagnóstico y epidemiológicas para implementar un sistema de vigilancia con éxito estas no se han aplicado o dejaron de hacerlo. Sin embargo, las pérdidas potenciales productivas y los impactos sociales, así como la estructura operativa nacional fitosanitaria conformada por la red de Comités Estatales de Sanidad Vegetal, podrían coadyuvar a ese fin. En ALC, HLB y PMP un modelo efectivo de vigilancia debe considerar el monitoreo de variantes y/o especies así como su prevalencia regional con base en las siguientes estrategias:

- A) Un método eficaz y eficiente para la detección del agente patogénico principalmente basado en métodos moleculares por su sensibilidad para operar en planta y vector.
- B) Énfasis en sistemas de monitoreo del vector(es) a nivel regional y con consideraciones fenológicas para su optimización.
- C) Incorporar la detección del agente patogénico en el vector con fines de establecimientos de planes de acción con fines preventivos o alertas tempranas para la detección.
- D) El desarrollo de estrategias de manejo mediante la generación, validación y/o transferencia de tecnologías generadas localmente o a partir de experiencias de otros países.

Referencias Bibliográficas

- Almeyda-León, I. H., Sánchez-Salas, J. A. y Garzón-Tiznado, J. A. 2008. Vectores causantes de la Punta Morada de la Papa en Coahuila y Nuevo León. *Agricultura Técnica en México*. 34: 141-150.
- Cadena-Hinojosa, M. A., Guzmán-Plazola, R., Díaz-Valasis, M., Zavala-Quintana, T. E., Magaña-Torres, O. S., Almeyda-León, I. H., López-Delgado, H., Rivera-Peña, A. y Rubio-Covarrubias, O. 2003. Distribución, Incidencia y Severidad del Pardeamiento y la Brotación Anormal en los Tubérculos de Papa (*Solanum tuberosum*) en Valles Altos y Sierras de los Estados de México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 21: 248-259.
- DOF. 2010. Acuerdo por el que se dan a conocer las medidas fitosanitarias que deberían aplicarse para el control del Huanglongbing (*Candidatus Liberibacter spp*) y su vector. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5155459&fecha=16/08/2010
- Esquivel-Chavez, F., Valdovinos-Ponce, G., Mora-Aguilera, G., Gómez-Jaime, R., Velázquez-Monreal, J., Manzanilla-Ramírez, M. A., Flores-Sánchez, J. L. y López-Arroyo, J. I. 2012. Análisis Histológico Foliar de Cítricos Agrios y Naranja Dulce con Síntomas Ocasionados por *Candidatus Liberibacter asiaticus*. *Agrociencia*. 46:769-782.
- Flores-Sánchez, J.L., Mora-Aguilera, G., Loeza-Kuk, E., Domínguez-Monge, S., Acevedo-Sánchez, G., Rivas-Valencia, P., Ruiz-García, N., López-Arrollo, J. I., Hernández-Chan, E., Novelo-Cocon, A., López-Sánchez, P. y Sánchez-Rebolledo, F. 2011. Gradiente de Dispersión del HLB a partir de Focos Iniciales de Infección en la Península de Yucatán. *In: Memoria del 2do. Simposio Nacional sobre Investigación para el Manejo del Psílido Asiático de los Cítricos y el Huanglong bingen México*. 5 y 6 de Diciembre. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. pp: 83-87.
- Flores-Sánchez, J. L., Mora-Aguilera, G., Loeza-Kuk, E., Domínguez-Monge, S., Acevedo-Sánchez, G. y López-Arroyo, J. I. 2012. Yield Loss Modeling of *Candidatus Liberibacter asiaticus* on Persian Lime (*Citrus Latifolia*) in southern Mexico. *In: Book of Abstracts of the XII International Citrus Congress*. S12P01 199p. Valencia, Spain. 18-23 November.
- Góngora-Canúl, C. C., Pérez-Hernández, O., Pech-Cauich, O., Escamilla-Bencomo, J. A. y Mora-Aguilera, G. 2004. Gradientes de Diseminación del Amarillamiento Letal en Cocotero (*Cocos nucifera*) en Yucatán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 22:370-376.
- Hernández-García, V., Almeyda-León, I. H., y Frías-Treviño, A. G. 2010. Estrategias de Manejo Fitosanitario de la Punta Morada de la Papa/Zebra Chip: Caso Nuevo León y Coahuila. *In XIII Congreso Nacional de papa*. 9-11 septiembre. Tapalpa, Jalisco. México.
- López-Arroyo, J. I. y Cortez-Mondaca, E. 2013. Uso Racional de Insecticidas en las ARCOS. *En: Memorias de la Reunión Nacional de Sanidad Vegetal*. México, D.F. 16-19 Abril.
- Munyanza, J. E. 2012. Zebra Chip Disease of Potato: Biology, Epidemiology, and Management. *Am. J. Pot. Res.* 89: 239-350.
- Mora-Aguilera, G. y Escamilla, G. (Coord). 2001. Simposium Amarillamiento Letal del Cocotero. XXVIII Congreso Nacional de Fitopatología. Querétaro, México. 15-18 Julio. Compilación electrónica en CD.
- Mora-Aguilera, G. y Escamilla-Bencomo, J. A. 2002. Dispersal Potential of Lethal Yellowing of the Coconut Palm a Quarantine Disease in Mexico. pp. 128-133. *In: Proceedings of the Expert Consultation on Sustainable Coconut Production through Control of Lethal Yellowing Disease*.
- National Center of Biotechnology Information (NCBI). Consultado el 30 de Junio de 2013. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Undef&id=33926&lvl=3&keep=1&srchmode=1&unlock>
- NOM-003-FITO-1995. SENASICA-DGSV. <http://www.senasica.gob.mx/?doc=628>
- NOM-015-FITO-1995. SENASICA-DGSV. <http://www.senasica.gob.mx/?doc=612>
- NOM-067-FITO-1999. SENASICA-DGSV. <http://www.senasica.gob.mx/?doc=697>
- Oropeza, C., Escamilla, J. A., Mora-Aguilera, G., Zizumbo, D. and Harrison, N.A. 2005. Coconut lethal yellowing. 349-363 pp. *In: Coconut Genetic Resources*. Batugal, P., Ramanatha, V. and Oliver, J. Eds. Ed. IPGRI-APO.

- Malaysia.
- Pérez-Hernández, O., Góngora-Canúl, C. C., Medina-Lara, M. F., Oropeza-Salín, C., Escamilla-Bencomo, J. A. y Mora-Aguilera, G. 2004. Patrón Espacio-Temporal del Amarillamiento Letal en Cocotero (*Cocos nucifera*) en Yucatán, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 22:231-238.
- Robles G, M. M., Velázquez, M. J. J., Manzanilla, R. M. A., Orozco, S. M., Medina, U. V. M., López-Arroyo, J. I. y Flores-Virgen, R. 2013. Síntomas del Huanglongbing (HLB) en Limón Mexicano (*Citrus aurantifolia*) y su Dispersión en el Estado de Colima, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 19:15-31.
- Rubio-Covarrubias, O. A., Almeyda-León, I. H., Ireta-Moreno, J., Sánchez-Salas, J. A., Fernández-Sosa, R., Borbón-Soto, J. T., Díaz-Hernández, C., Garzón-Tiznado, J. A., Rocha-Rodríguez, R. y Cadena-Hinojosa, M. A. 2006. Distribución de la Punta Mora y *Bactericera cockerelli* Sulc. en las principales zonas productoras de papa en México. *Agricultura Técnica en México*. 32:201-211.
- Salas-Marina, M. A., Sánchez-Arizpe, A., García-Martínez, O., Almeyda, León, I. H., Garzón-Tiznado, J. A. y Flores-Olivas, A. 2013. Eficiencia de insectos vectores en la transmisión de fitoplasmas en Papa (*Solanum tuberosum*). 00:000-000. No publicado.
- SINAVEF-CNRF. 2013. Lineamientos del Programa Nacional de Vigilancia Epidemiológica Fitosanitaria. <http://portal.sinavef.gob.mx/EpidemiologiaFitosanitariaInicio.html>